



**LUZIA BATISTA MOURA**

**REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE *COMPOST BARN*  
COMO SUBSTRATO E CARACTERIZAÇÃO  
MICROMETEOROLÓGICA: EFEITOS NA QUALIDADE E  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea  
arabica* L.)**

**LAVRAS - MG  
2024**

**LUZIA BATISTA MOURA**

**REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE *COMPOST BARN* COMO SUBSTRATO E  
CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA: EFEITOS NA QUALIDADE E  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções, Ambiente e Tratamento de Resíduos, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

Prof. Dr. Felipe Schwerz - UFLA  
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFLA  
Coorientadores

**LAVRAS – MG  
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pela própria autora.

Moura, Luzia Batista.

Reaproveitamento da cama de *Compost Barn* como substrato e caracterização micrometeorológica: Efeitos na qualidade e crescimento de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) / Luzia Batista Moura. - 2024.

123 p.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Coorientadores: Felipe Schwerz e Tadayuki Yanagi Junior.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Ambiência em cultivo protegido. 2. Cafeicultura. 3. *Compost Barn*. 4. Reaproveitamento de resíduos. I. Campos, Alessandro Torres. II. Schwerz, Felipe III. Junior, Tadayuki Yanagi.

**LUZIA BATISTA MOURA**

**REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE *COMPOST BARN* COMO SUBSTRATO E  
CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA: EFEITOS NA QUALIDADE E  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica* L.)**

**REUSE OF *COMPOST BARN* BEDDING AS SUBSTRATE AND  
MICROMOMETEOROLOGICAL CHARACTERIZATION: EFFECTS ON THE  
QUALITY AND GROWTH OF ARABIC COFFEE SEEDLINGS (*Coffea arabica* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções, Ambiente e Tratamento de Resíduos, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 07 de fevereiro de 2024.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos UFLA  
Prof. Dr. Felipe Schwerz UFLA  
Prof. Dr. Allan Alves Fernandes UNIPAMPA

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

Prof. Dr. Felipe Schwerz - UFLA  
Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior - UFLA  
Coorientadores

**LAVRAS-MG  
2024**

*A Deus, o autor da minha vida.  
E à minha mãe, minha maior fonte de inspiração.  
Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e graça, pelo amparo constante ao longo desse período de mestrado e em todas as fases da minha jornada. Sua presença foi luz que iluminou o meu caminho, Sua misericórdia sustentou-me nos momentos desafiadores, e Sua graça foi a força que me impulsionou a cada conquista.

A minha mãe Luísa, minha fonte inesgotável de amor e inspiração. Expressar gratidão à minha mãe é um desafio, pois suas ações falam mais alto do que palavras. Uma mulher extraordinária que desdobrou funções, sendo mãe e pai com maestria, quero dedicar minha mais profunda gratidão. Seu apoio incansável, amor e ensinamentos sábios, moldaram quem sou hoje. Ao alcançar a conquista de me tornar mestre, é impossível não reconhecer que sua presença foi alicerce fundamental nessa jornada. A você, minha mãe, meu eterno agradecimento por ser a inspiração por trás dessa conquista.

Aos meus irmãos, Celly, Vanilma, Jania, Simone, Ronildo e Irisvan por todo apoio, carinho, amizade e companheirismo. Mesmo distantes, vocês estiveram sempre presentes na minha vida. O vínculo que compartilhamos é um tesouro que valorizo imensamente.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Alessandro Torres Campos, por todos ensinamentos, orientações, além da amizade construída longo desta jornada acadêmica, e por toda confiança depositada durante essa trajetória.

Ao meus coorientadores, em especial ao professor Dr. Felipe Schwerz, pelas suas contribuições em diversos momentos, orientações e ensinamentos preciosos, sua prontidão em auxiliar e compartilhar conhecimentos foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa, agradeço imensamente por sua dedicação e excelência como professor.

Aos meus amigos Romário e Maria, companheiros desde a graduação, expressei minha profunda gratidão por toda a amizade, carinho, conselhos e parcerias ao longo de nossa jornada acadêmica. Em especial, na pesquisa de mestrado, agradeço pela colaboração essencial nas fases de preparação, condução, levantamento e análise dos dados experimentais. Sou grata a Deus pelas suas vidas, e por cada momento compartilhado.

Aos membros do Laboratório, cujo apoio e contribuições foram fundamentais para a execução desta pesquisa. Em especial, gostaria de expressar minha gratidão a Caio Siqueira, Miguel Caixeta, Carlos Eduardo e Rambler Alves, por toda assistência ao longo da pesquisa, desde a preparação e condução do experimento, e por todos momentos de descontração e alegrias compartilhadas.

A Marina Fraga e Guilherme Siqueira, por todo carinho e generosidade de estarem contribuindo durante os momentos de preparação e condução da pesquisa, suas contribuições foram permeadas de empatia, e é com especial gratidão que reconheço a Marina por sua constante ajuda, estando sempre disponível quando precisei.

A todos meus amigos, especialmente a Maxsuel Caldas, Bruna Campos, Guilherme Mathias, Aline Pimentel e Fábio Bispo, por todo apoio, conselhos, momentos de alegria, além das demonstrações de carinho e amizade que foram essenciais. Agradeço por sempre estarem presentes e por me ouvirem atentamente quando precisei, minha mais profunda gratidão.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem participar da avaliação deste trabalho e pelas significativas contribuições.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realizar essa pós-graduação, e todos os professores que contribuíram para essa conquista.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA/UFLA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, viabilizando financeiramente o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, expresso meu profundo agradecimento a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização desta conquista. Minha gratidão se estende a cada pessoa que, de alguma forma, fez parte deste caminho.

## RESUMO GERAL

O reaproveitamento de materiais nas práticas agrícolas tem assumido crescente relevância no contexto da mitigação do impacto ambiental e na promoção da sustentabilidade. Dessa maneira, promover a utilização de resíduos agrícolas como substratos para produção de mudas de café, representa uma fonte de nutrientes economicamente viável. O café arábica (*Coffea arabica* L.) ocupa posição de segundo produto mais valioso no mercado global e é amplamente consumido em todo o mundo. Assim, o objetivo do presente trabalho, foi avaliar a cama proveniente do sistema de confinamento de bovinos *Compost Barn* na composição de substratos para a produção de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em casa de vegetação tipo capela, com área total de 233,3 m<sup>2</sup> orientada no sentido Leste-Oeste, coberta por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 µm de espessura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado 2x5, correspondendo a duas cultivares cinco substratos. As avaliações das mudas foram realizadas aos 180 dias após a semeadura. Os dados micrometeorológicos foram obtidos por meio de sensores de leitura automática e direta na casa de vegetação. Para o ambiente externo, os dados foram obtidos da estação meteorológica automática da Universidade Federal de Lavras. A interação entre substrato e cultivar exerceu influência significativa na maioria das variáveis agrônômicas, resultando em um bom desenvolvimento das plantas. As variáveis micrometeorológicas avaliadas na casa de vegetação e ambiente externo apresentaram boa correlação. Ficou evidenciado que a radiação global interceptada aumentou progressivamente ao longo dos meses, indicando um aumento na capacidade das mudas de café arábica em interceptar a radiação solar. A temperatura base demonstrou notável uniformidade nas condições de desenvolvimento térmico das mudas de café arábica nos diferentes tratamentos. Por outro lado, o filocrono evidenciou a necessidade de diferentes quantidades de energia térmica para a emissão de um par de folhas. Portanto, a escolha do substrato desempenha papel crucial na produção de mudas de café arábica. A interação entre substrato e cultivar é fator determinante para o sucesso do desenvolvimento das plantas. Além disso, a análise micrometeorológica contribuiu para uma compreensão mais abrangente das condições ambientais durante o experimento.

**Palavras-chave:** Ambiência vegetal. Cafeicultura. *Compost Barn*. Reaproveitamento de resíduos.

## GENERAL ABSTRACT

The reuse of materials in agricultural practices is increasingly important in the context of mitigating environmental impact and promoting sustainability. In this way, promoting the use of agricultural residues as substrates for the production of coffee seedlings represents an economically viable source of nutrients. Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) ranks as the second most valuable product on the global market, and is widely consumed throughout the world. Thus, the objective of the present work was to evaluate the litter from the Compost Barn cattle confinement system in the composition of substrates for the production of Arabica coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) in a protected environment. The contour was in a chapel-type greenhouse, with a total area of 233.3 m<sup>2</sup> oriented in the East-West direction, covered by low-density polyethylene experiment film, 150 µm thick. The experimental design was randomized 2x5, corresponding to two cultivars and five substrates. Seedling evaluations were carried out 180 days after the week. Micrometeorological data were obtained using automatic and direct reading sensors in greenhouses. For the external environment, data were obtained from the automatic meteorological station at the Federal University of Lavras. The interaction between substrate and cultivar exerted a significant influence on most agronomic variables, resulting in good plant development. The micrometeorological variables evaluated in the growing house and external environment were evaluated. It was evident that the global radiation intercepted increased progressively over the months, providing an increase in the capacity of Arabica coffee changes to intercept solar radiation. The base temperature demonstrated remarkable uniformity in the thermal development conditions of Arabica coffee seedlings in different treatments. On the other hand, the phyllochron showed the need for different amounts of thermal energy to produce a pair of leaves. Therefore, the choice of substrate plays a crucial role in the production of Arabica coffee seedlings. The interaction between substrate and cultivar is a determining factor in the success of plant development. Furthermore, micrometeorological analysis contributed to a more comprehensive understanding of environmental conditions during the experiment.

**Keywords:** Vegetal ambiance. Coffee farming. *Compost Barn*. Reuse of waste.

## LISTA DE FIGURAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Figura 1 - Casa de vegetação (A) e unidades experimentais dispostas sobre a bancada (B)....	47
Figura 2 - Avaliações das características agronômicas das mudas de café arábica em casa de vegetação (UFLA).....	52
Figura 3 - Variação da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) (A), umidade relativa do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) (B), radiação solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) (C), dióxido de carbono $\text{CO}_2$ (ppm) (D) no ambiente interno casa de vegetação.....	54
Figura 4 - Percentual de Variância Total explicada por cada um dos nove primeiros Componentes Principais .....	79
Figura 5 - Contribuição das variáveis agronômicas avaliadas para o percentual de Variância Total explicada por cada um dos 5 primeiros Componentes Principais.....	80
Figura 6 - Biplot dos dois primeiros componentes principais obtidos para a interação entre os fatores Substratos e Cultivar com base nos parâmetros agronômicos avaliados na produção de mudas de café arábica.....	81

#### ARTIGO 2

Figura 1 - Estrutura de cultivo protegido e configuração das unidades experimentais sobre a superfície da bancada.....	95
Figura 2 - Representação esquemática das 70 células que compuseram a malha amostral.....	101
Figura 3 -Variação da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no ambiente interno, casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da temperatura média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.....	102
Figura 4 - Variação da umidade relativa do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da umidade média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.....	104
Figura 5 - Variação da radiação solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da radiação solar média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.....	105

Figura 6 - Variação do dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (ppm), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação do CO <sub>2</sub> média entre os ambientes (C) no município de Lavras - MG.....	107
Figura 7 - Boxplot da temperatura superficial dos substratos nos sacos de polietileno.....	108
Figura 8 - Radiação global interceptada nas mudas de café arábica em diferentes pontos ao longo dos dias de avaliação.....	110
Figura 9 - Quadrado médio do erro (QME) da regressão entre o número de folhas acumulada na haste principal e a soma térmica acumulada utilizando-se várias temperaturas-base, para mudas de café arábica, de uma planta para cada um dos tratamentos: T1(A), T2(B), T3(C), T4(D), T5(E), T6(F), T7(G), T8(H), T9(I), T10(J).....	112
Figura 10 - Relação entre o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e a soma térmica acumulada a partir da emissão de folhas (STa) utilizada para a estimativa do filocrono para mudas de café arábica, de uma planta para cada um dos tratamentos: T1(A), T2(B), T3(C), T4(D), T5(E), T6(F), T7(G), T8(H), T9(I), T10(J).....	115

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1 - Características físicas do solo utilizado na composição dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.....	48
Tabela 2 - Caracterização físico-químicas iniciais dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.....	48
Tabela 3 - Efeito dos substratos sobre a emergência (%) das mudas de café arábica nas cultivares, MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).....	55
Tabela 4 - Efeito isolado dos substratos sobre o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) das mudas de café arábica aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).....	57
Tabela 5 - Efeito isolado das cultivares de café arábica sobre o Índice de velocidade de emergência (IVE) aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).....	57
Tabela 6 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), comprimento radicular (CR) e número de pares de folhas (NPF) das mudas de diferentes cultivares de café em função dos substratos aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	58
Tabela 7 - Efeito dos substratos sobre a altura da parte aérea (cm) das mudas de café arábica cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	59
Tabela 8 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a altura da parte aérea (cm) das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	59
Tabela 9 - Efeito dos substratos sobre o diâmetro do coleto (mm) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	61
Tabela 10 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o diâmetro do coleto (mm) das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	61

Tabela 11 - Efeito dos substratos sobre o comprimento radicular (cm) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	63
Tabela 12 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o comprimento radicular (cm) das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	63
Tabela 13 - Efeito dos substratos sobre o número de pares de folhas das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	64
Tabela 14 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o número de pares de folhas das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	65
Tabela 15 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis massa fresca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	66
Tabela 16 - Efeito dos substratos sobre a massa fresca da parte aérea (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	66
Tabela 17 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa fresca da parte aérea das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	67
Tabela 18 - Efeito dos substratos sobre a massa fresca da raiz (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	68
Tabela 19 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa fresca da raiz das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	68
Tabela 20 - Efeito dos substratos sobre a massa seca da parte aérea das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	69
Tabela 21 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa seca da parte aérea das mudas produzidas nos S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	70
Tabela 22 - Efeito dos substratos sobre a massa seca da raiz (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	70

Tabela 23 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa seca da raiz (g) das mudas produzidas S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	71
Tabela 24 - Efeito isolado dos substratos sobre o Índice de Qualidade de Dickson das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	72
Tabela 25 - Resumo das análises de variância para as variáveis índice de clorofila (IC), área foliar total (AFT), razão de peso foliar (RPF), razão de área foliar (RAF) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	73
Tabela 26 - Efeito dos substratos sobre o índice de clorofila das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	74
Tabela 27 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o Índice de clorofila das mudas produzidas S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	74
Tabela 28 - Efeito dos substratos sobre a área foliar (cm <sup>2</sup> ) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	75
Tabela 29 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a área foliar total das mudas produzidas S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> e S <sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	75
Tabela 30 - Efeito isolado dos substratos sobre a razão de peso foliar das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	77
Tabela 31 - Efeito isolado dos substratos sobre a razão de área foliar das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	78

## **ARTIGO 2**

Tabela 1 - Características físicas do solo utilizado na composição dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.....	96
Tabela 2 - Caracterização físico-químicas iniciais dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.....	96
Tabela 3 - Estatística descritiva da temperatura superficial dos substratos.....	109
Tabela 4 - Valores médios da temperatura base (°C), nos seus respectivos tratamentos, para mudas de café arábica.....	113

Tabela 5 - Valores médios do filocrono ( $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ ), para cada tratamentos, em mudas de café arábica.....	116
--	-----

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	<b>18</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<i>Coffea arabica</i> L.....	<b>23</b>
<b>2.2</b>	Produção de mudas .....	<b>24</b>
<b>2.3</b>	Composição de substratos na produção de mudas de <i>Coffea arabica</i> L.....	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<i>Compost Barn</i> (CB) e qualidade do composto orgânico .....	<b>27</b>
<b>2.5</b>	Ambiência no cultivo protegido de mudas .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	<b>41</b>
	<b>ARTIGO 1: REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE <i>COMPOST BARN</i> COMO UM IMPORTANTE COMPONENTE NO SUBSTRATO: EFEITOS NA QUALIDADE E CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (<i>Coffea arabica</i>L.)</b> .....	<b>41</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
<b>2.1</b>	Área de estudo.....	<b>46</b>
<b>2.2</b>	Delineamento experimental .....	<b>47</b>
<b>2.3</b>	Condução do experimento .....	<b>47</b>
<b>2.4</b>	Características avaliadas .....	<b>51</b>
<b>2.5</b>	Análises estatísticas .....	<b>53</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>82</b>
	<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>
	<b>ARTIGO 2: CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA TEMPERATURA BASE E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATO EM AMBIENTE PROTEGIDO</b> .....	<b>89</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>92</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>94</b>
<b>2.1</b>	Área de estudo .....	<b>94</b>
<b>2.2</b>	Delineamento experimental .....	<b>95</b>

<b>2.3</b>	<b>Condução do experimento .....</b>	<b>95</b>
<b>2.4</b>	<b>Características avaliadas .....</b>	<b>98</b>
<b>2.5</b>	<b>Coleta e análise dos dados .....</b>	<b>99</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>117</b>
	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>118</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>118</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

As práticas agrícolas de reutilização de materiais em sistemas agrícolas têm assumido uma relevância crescente no contexto da mitigação do impacto ambiental e na promoção da sustentabilidade no longo prazo (LAKNER *et al.*, 2021). Assim, a conscientização sobre questões ambientais e a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis têm direcionado a atenção para estratégias inovadoras no setor agrícola.

Dessa maneira, promover a reutilização de resíduos agrícolas disponíveis nas fazendas na composição dos substratos para a produção de mudas, representa uma fonte de nutrientes economicamente viável, reduzindo os custos gerados pela aquisição de substratos ou matérias-primas para sua formulação, além de minimizar o impacto ambiental gerado pela inadequada disposição de resíduos (MENEGHELLI *et al.*, 2017).

Ao considerar a importância da agricultura sustentável e o aproveitamento de resíduos agrícolas para a produção de mudas, é relevante explorar como o sistema *Compost Barn* se destaca nesse contexto. Esse sistema, integrado às práticas agrícolas sustentáveis, destaca-se como uma solução inovadora não só para otimizar o bem-estar dos animais e a produção leiteira, mas também desempenha um papel crucial na gestão inteligente dos resíduos agrícolas.

No entanto, esse enfoque sustentável permite que a cama resultante do confinamento seja direcionada em lavouras, como fertilizante, sendo um adubo orgânico rico em nutrientes e necessários para um bom desenvolvimento das plantas (TOMAZI; GAI, 2022). Assim, esse sistema oferece a oportunidade de transformar resíduos, inicialmente vistos como um desafio ambiental, em insumos valiosos para a agricultura.

Os resíduos orgânicos tornaram-se importante foco de pesquisa, devido à ameaça que representam ao meio ambiente. A produção global de resíduos agrícolas é considerada alta e grande parte desses resíduos agrícolas é descartada de forma inadequada, intensificando ainda mais o aquecimento global e a poluição do ar (ZHANG *et al.*, 2016 ).

Assim, reutilizar a cama proveniente de sistemas *Compost Barn* como material para composição dos substratos, não apenas se alinha com princípios econômicos, ao reduzir os custos associados à aquisição de substratos convencionais, mas também representa um passo significativo em direção à redução do impacto ambiental, causado pelo descarte inadequado de

resíduos agrícolas. Além disso, a qualidade dos substratos tem grande importância na produção de mudas e deve possuir propriedades físicas, químicas e biológicas adequadas, para fornecer os nutrientes necessários para seu pleno desenvolvimento (KATO *et al.*, 2018, ANTUNES *et al.*, 2019).

Se tratando da produção de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.), os substratos empregados são responsáveis por 38% do custo de produção (VALLONE *et al.*, 2010). Portanto, uma possível utilização de materiais orgânicos provenientes de animais criados sob confinamento, tende a diminuir esse custo, favorecendo economicamente os produtores (PEREIRA *et al.*, 2017).

Na produção de mudas de café arábica, é de grande relevância a utilização de substratos que atendam à demanda de nutrientes para as plantas. A escolha do substrato é fundamental, pois ele afeta a estrutura do solo, a capacidade de retenção e translocação da água e de nutrientes, além de aumentar a capacidade de troca de cátions, auxiliar no arejamento e fornecer de forma lenta e gradual, nutrientes às plantas (FERNANDES *et al.*, 2013; DELARMELINA *et al.*, 2013). Além disso, é importante a utilização de sementes de qualidade para obter mudas vigorosas, livres de pragas, doenças, juntamente com a utilização de cultivares com alto potencial produtivo.

Ressalta-se que o café arábica (*Coffea arabica* L.) ocupa a posição de segundo produto mais valioso no mercado global, perdendo apenas para o petróleo, e é amplamente consumido em todo o mundo (OVALLE-RIVERA *et al.*, 2015; TAVARES *et al.*, 2018). Além disso, a demanda por café continua a crescer, como evidenciado por Koutouleas *et al.*, (2022). Essa constante expansão, destaca a importância econômica da cafeicultura na indústria global.

O café arábica tornou-se uma cultura de grande importância econômica e social, o que evidencia isso é a representatividade no volume de produção, consumo interno, participação na exportação e na capacidade de geração de emprego e de renda (PELOSO; TATAGIBA; AMARAL, 2017). Diante desse contexto, a busca por alternativas que possam agregar mais valor à cultura cafeeira torna-se uma prioridade estratégica.

No entanto, para que a produção de mudas de café seja bem-sucedida, depende-se de uma interação complexa de vários fatores, além de substratos de boa qualidade se fazem necessárias condições meteorológica favoráveis, pois as variáveis micrometeorológica exercem papel relevante no desenvolvimento inicial das mudas.

Apesar dos avanços significativos na adaptação de cultivares, nas melhorias das práticas de manejo e no controle de pragas e doenças, a produtividade de café arábica é fortemente

afetada pela variabilidade climática devido às exigências climáticas distintas em cada estágio de desenvolvimento (MATIELLO, 1991), pois a cultura necessita de condições favoráveis ao longo de seu ciclo vegetativo e reprodutivo (TAVARES, *et al.*, 2018).

Com isso, visando obter as melhores condições para o desenvolvimento das plantas e melhor produtividade, a ambiência vegetal se destaca por ser um conjunto de elementos que compõe as condições micrometeorológicas da área/espaço de produção (SANTOS *et al.*, 2017). O monitoramento e a caracterização do comportamento das variáveis micrometeorológicas em ambientes protegidos têm como objetivo principal a observação das oscilações desses parâmetros, buscando identificar potenciais de intervenções, sejam elas automatizadas ou não, envolvendo acionamentos mecânicos ou manuais, com propósito de otimizar o manejo do ambiente de cultivo, minimizando ou prevenindo estresses nas plantas instaladas e, conseqüentemente, promovendo maior produtividade na cultura (COSTA *et al.*, 2020).

O conhecimento dos efeitos dos elementos meteorológico no desenvolvimento da cultura cafeeira tem grande aplicação nas práticas de manejo, pois esses exercem grande influência nos estádios de desenvolvimento. Neste âmbito, temperatura do ar, que atua na duração do ciclo reprodutivo, é considerada o elemento mais relevante (PEZZOPANE *et al.*, 2003), e está envolvida em estudos de relação clima-planta, pois influencia os processos fisiológicos das plantas, interferindo em cada subperíodo de seu ciclo (CARVALHO *et al.*, 2011).

A estimativa do desenvolvimento vegetal pode ser realizada por meio da velocidade de emissão de folhas, sendo a temperatura do ar um elemento fundamental nesse processo devido aos graus-dia acumulados. Os Graus-dia refere-se ao acúmulo térmico diário necessário para o desenvolvimento da planta, que envolve a diferença entre a temperatura média do ar diária e a temperatura basal ( $T_b$ ) específica da espécie (ARNOLD, 1959; ROSA *et al.*, 2009; SOUZA; MARTINS, 2013).

Assim, o estudo da temperatura base desempenha um papel fundamental na otimização das práticas de cultivo e na compreensão dos processos associados ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Ao compreender os efeitos da temperatura base, os agricultores podem ajustar estrategicamente o calendário de plantio e outras práticas agrônômicas, maximizando assim a eficiência produtiva. Essa compreensão mais aprofundada das condições térmicas ideais para o desenvolvimento das culturas não apenas aumenta a probabilidade de colheitas bem-sucedidas, mas também contribui para a gestão sustentável dos recursos

agrícolas. O conhecimento da temperatura base é, portanto, uma ferramenta essencial para promover práticas agrícolas mais precisas e eficientes.

Para cada espécie vegetal, há uma temperatura base que pode ser variável em função do estágio fenológico da planta. Várias fórmulas ou expressões têm sido sugeridas para o cálculo de graus-dia ou unidades térmicas necessárias para que um vegetal atinja um certo estágio do seu ciclo de desenvolvimento (ARNOLD, 1959).

Para avaliar o desenvolvimento e crescimento das plantas, comumente recorre-se à mensuração da variável denominada número de folhas acumuladas, devido à sua correlação com a expansão da área foliar, a captura de radiação solar e o processo de fotossíntese.

O intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal (NF) é conhecido como filocrono (MC MASTER; WILHELM, 1997). Conhecer o filocrono é essencial para o planejamento agrícola eficiente, permitindo aos agricultores sincronizar estrategicamente o plantio, a irrigação e outras práticas agronômicas com os estágios de desenvolvimento das plantas, otimizando assim a produção.

Além da temperatura do ar, a radiação solar desempenha um papel fundamental no crescimento das plantas. A radiação solar disponível no ambiente e interceptada pelo dossel vegetativo das plantas é fundamental para o processo fotossintético e para produção da cultura (ZHU *et al.*, 2010). Estudar a interação entre as plantas e a radiação solar é essencial para aprimorar as práticas agrícolas, aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade no setor agrícola. A compreensão dessa relação capacita o produtor a tomar decisões informadas e melhorar a eficiência produtiva.

Dentre os principais fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais estão a intensidade luminosa, concentração de CO<sub>2</sub>, teor de nitrogênio da folha, temperatura e umidade do solo. Deste modo, a capacidade fotossintética de cada espécie vegetal se torna uma característica própria (COSTA; MARENCO, 2007). Esses fatores são cruciais para os produtores agrícolas, ao compreender e gerenciar esses fatores, os produtores têm a capacidade de otimizar as condições de crescimento das plantas, maximizando a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, melhorando a produção agrícola.

Com base nisso, o monitoramento das variáveis micrometeorológicas pode servir de subsídio para a execução de atividades agrícolas, pois, através do conhecimento da dinâmica dessas variáveis, pode-se planejar as atividades, afim de diminuir as perdas causadas por intempéries climáticas (SILVA *et al.*, 2005), além de aumentar a qualidade do produto final (ROMANI, 2010). A interação entre a cultura e os fatores ambientais, representados por

diferentes elementos meteorológicos, afeta o crescimento e o desenvolvimento em várias fases da cultura.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a cama proveniente do sistema de confinamento tipo *Compost Barn* na composição de substratos, para a produção de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) em ambiente protegido, além de caracterizar o ambiente, estimar a temperatura base ( $T_b$ ) e o tempo térmico para a emissão de folhas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico, serão abordadas as temáticas relacionadas à cultura do café arábica, produção de mudas, composição de substratos na produção de mudas de *Coffea arabica* L., bem como a utilização da cama de *Compost Barn* (CB) e a qualidade do composto orgânico, além de destacar aspectos relacionados à importância da ambiência no cultivo protegido de mudas, destacando a importância da temperatura base (Tb) e o tempo térmico para a emissão de folhas.

### 2.1 *Coffea arabica* L.

O café destaca-se como importante commodity agrícola e desempenha papel econômico vital em diversos países, gerando grande número de empregos diretos e indiretos, distribuindo renda por toda a cadeia de produção, principalmente para as famílias dos agricultores e trabalhadores rurais (TOLEDO *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2016).

O gênero *Coffea* possui mais de 100 espécies descritas, sendo *Coffea arabica* L. uma das espécies de maior importância comercial (MEROT-L'ANTHOENE *et al.*, 2019). É a espécie mais cultivada, tanto no Brasil, quanto no mundo, sendo originária da Etiópia, que fica localizada no nordeste do continente da África, região caracterizada por altitudes elevadas, com excelente precipitação pluvial anual média (MIGUEL, 2016).

O plantio do café no Brasil proporcionou o progresso de ampla variedade de cultivares em regiões distintas, acarretando aumento na produtividade. Assim, *Coffea arabica* é uma das espécies mais comercializadas. Isto deve-se ao fato de apresentar uma bebida de maior qualidade, suavidade, rica em sabor e aromas, quando comparada à outras espécies existentes. A espécie preza por grandes altitudes e necessita de clima ameno, com a variação de temperatura entre 15 e 25°C (PASCOAL, 2006).

Em Minas Gerais, a espécie *Coffea arabica* L. é cultivada em todas as regiões cafeeiras do estado, e a cultivar Catuaí é amplamente cultivada por ser altamente produtiva (LIMA *et al.*, 2016). Entre as principais cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.), as do grupo Catuaí têm se destacado pela elevada adaptação a diversas regiões. A cultivar Catuaí é oriunda do cruzamento entre Mundo Novo e Caturra, possui como principais características porte baixo, alto vigor e produtividade, boa qualidade de bebida e suscetibilidade à ferrugem (CARVALHO *et al.*, 2008).

A cultivar MGS Paraíso 2 vem apresentando elevada produtividade em diversos ambientes estudados, demonstrando ampla adaptação às regiões produtoras de café de Minas Gerais. Lançada em 2013, pela Epamig, é fruto do cruzamento entre Catuaí Amarelo e Híbrido de Timor, apresenta, elevada capacidade produtiva, maturação intermediária, alta qualidade de bebida, resistência a ferrugem e porte baixo (PEREIRA *et al.*, 2013).

O café arábica, corresponde a 70% da produção mundial, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor de café arábica do Brasil, representando cerca de 50% da produção nacional e é uma das principais fontes de cafés especiais do país. Correspondendo a 99% de suas lavouras, é cultivado em quatro regiões produtoras: Sul de Minas Gerais, Cerrado de Minas, Chapada de Minas e Matas de Minas (BRASIL, 2022).

Por ser uma cultura perene, o cafeeiro tem crescimento inicial relativamente lento logo após a implantação, com menor demanda por nutrientes até que ocorra a primeira produção (MATIELLO *et al.*, 2016). O preparo de solo para a cultura do café, bem como sua implantação, envolve uma série de aspectos que devem ser minuciosamente analisados, pois, se tratando de uma cultura perene, após o seu estabelecimento, há grandes dificuldades na correção. Dessa forma, pequenos detalhes podem comprometer a longevidade da lavoura, a qualidade do produto, a produtividade e os custos de produção, tendo, por consequência direta, a redução na rentabilidade (PARECIDO, 2020).

Portanto, a produção sustentável de café tornou-se uma alternativa para agregar valor ao café, alcançando novos mercados mundiais. Mudanças de café de qualidade, produzidas a partir de resíduos orgânicos, pode ser uma alternativa para aumentar a lucratividade, principalmente para os agricultores que passam por dificuldades econômicas devido aos altos custos das operações e dos insumos agrícolas.

## **2.2 Produção de mudas**

A produção de mudas é uma etapa fundamental na manutenção da cadeia produtiva da lavoura cafeeira. Tradicionalmente, as mudas de *C. arabica* são produzidas em viveiros comerciais, utilizando como principais recipientes sacos de polietileno contendo substrato de solo subsuperficial (70%) e esterco bovino (30%), além de tubetes rígidos de polietileno com substrato comercial, constituído de casca de pinus moída enriquecida com nutrientes (VALLONE *et al.*, 2010). A produção de mudas é uma etapa decisiva, pois a qualidade das mudas vai influenciar diretamente na qualidade da lavoura (CUNHA, 2021). É preciso produzir

mudas de alto padrão de qualidade que se adaptem bem ao local de plantio, se desenvolvam e tenham um baixo custo de produção.

Martins *et al.* (2015) ressaltam que a produção de mudas com qualidade é considerada uma fase importante para o estabelecimento de bons índices de sobrevivência no campo, que contribui para a redução de custos com práticas de replantios, além de promover rápido crescimento inicial das plantas no campo. Estes autores indicam que a formação da lavoura cafeeira é notadamente influenciada pela qualidade das mudas, as quais devem apresentar desenvolvimento vigoroso e sistema radicular bem formado.

Considerando que a produção de mudas é uma das fases mais importantes para o sucesso da atividade cafeeira, contribuindo para o futuro do empreendimento, faz-se necessária a seleção adequada das mudas, o que pode prevenir a decaída precoce da lavoura. Assim, o desenvolvimento inicial das mudas de diversas variedades de café tem sido objeto de estudo dos pesquisadores durante décadas, abrangendo aspectos como adubação, o tipo de recipiente, a época do ano para iniciar a produção, o momento ideal de ir a campo, além das pragas chave e doenças que afetam as mudas durante a implantação da lavoura cafeeira (TOMAZ *et al.*, 2015).

Esses estudos tornam-se ainda mais cruciais diante das transformações constantes na cafeicultura, incluindo o aumento da área plantada, renovação do parque cafeeiro e a adaptação aos sistemas de plantio contemporâneos. Nesse contexto, o plantio de mudas vigorosas emerge como um parâmetro de fundamental importância, contribuindo não apenas para um bom desenvolvimento inicial, mas também para a redução dos gastos com operações de replantio, consolidando-se como um elemento essencial para o rápido crescimento das plantas no campo (ALVES; GUIMARÃES, 2010).

Nesse sentido, a produção de mudas é uma das fases mais importantes na formação de novas lavouras, pois, qualquer erro pode comprometer a produção por toda vida útil dessa cultura, que possui caráter perene e, para produção de mudas, requer qualidade superior (LIMA; CAVICHIOLI, 2019).

Segundo Trazzi *et al.* (2013), a qualidade das mudas está diretamente ligada à produtividade e qualidade do produto final. Em relação ao contexto da produção de mudas de café, nos últimos anos, pesquisas vêm sendo realizadas utilizando substratos alternativos (MENEGHELLI *et al.*, 2017). A busca por novas tecnologias para produção de mudas é importante para que o desenvolvimento do café possa tornar a atividade mais atrativa e rentável para os produtores rurais, trazendo maior potencial produtivo às lavouras (LIMA *et al.*, 2021).

### **2.3 Composição de substratos na produção de mudas de *Coffea arabica* L.**

O sucesso obtido na produção de mudas está diretamente ligado ao tipo de substrato utilizado. Para a formulação de substratos deve se levar em consideração que a sobrevivência e o crescimento da muda em campo estão relacionados com sua formação inicial (MELO *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o substrato tem a função de sustentar e fornecer condições adequadas para a muda, contribuindo para seu crescimento inicial, garantindo, conseqüentemente, maior sobrevivência em campo e resistência a fatores estressantes ambientais (KRATZ *et al.*, 2016), influenciando diretamente na qualidade final. Assim, pesquisas têm sido realizadas com o intuito de selecionar constituintes capazes de melhorar a qualidade das mudas (ABREU *et al.*, 2017).

Dentre as características desejáveis na seleção de materiais para substratos, destacam-se o custo-benefício, a disponibilidade na região, a esterilidade biológica e o fácil manuseio (ABREU *et al.*, 2017). Deve-se atentar também para as características físicas, como densidade, porosidade, macro e microporosidade, e as características químicas, como pH e condutividade elétrica, que influenciam significativamente no crescimento da muda (KRAUSE *et al.*, 2017).

Nesse sentido, recomenda-se a mistura de materiais diversos, com o intuito de formular um substrato com condições apropriadas para favorecer o crescimento da muda (GERVASIO *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016). Porém, não há um substrato perfeito que atenda todas as necessidades da espécie a ser cultivada, diante disso, torna-se necessário a mistura de compostos (BOENE *et al.*, 2013).

Na produção de mudas, os constituintes mais comumente utilizados nas formulações dos substratos são: casca de arroz carbonizada, vermiculita, areia, moínha de carvão, turfa, serragem, esterco bovino, bio-sólido e diversas misturas desses constituintes (SILVA *et al.*, 2012). Materiais alternativos, como fibra de coco e palha de café, este último, ainda com poucos estudos, tem apresentado boas características físicas (KRATZ *et al.*, 2016) e são opções viáveis para promover alterações na qualidade dos substratos.

Muito embora os substratos comerciais possuam boa aceitação no mercado e sejam considerados de boa qualidade, eles elevam os custos de produção. Para minimização de gastos com os substratos comerciais, faz-se necessária a realização de pesquisas que visem o

aproveitamento econômico de resíduos orgânicos que apresentam potencial para compor os substratos para produção de mudas de café (SAMPAIO *et al.*, 2008).

Apesar do conhecimento sobre a relevância da nutrição mineral adequada e a composição do substrato para a boa formação das mudas, é comum encontrar situações onde tais aspectos não são observados com o merecido cuidado por produtores e viveiristas, o que pode comprometer o sucesso do empreendimento devido a altas taxas de mortalidade e/ou baixa produtividade da lavoura (SOUZA *et al.*, 2017).

Assim, a adição de fontes de matéria orgânica ao solo contribui não só para o fornecimento de nutrientes, mas também para a melhoria dos atributos físicos do meio de cultivo, sendo que, o uso de materiais orgânicos de forma equilibrada, em formulações de substratos, é de fundamental importância para o pleno desenvolvimento das plantas quando ainda em fase de mudas (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Vallone *et al.* (2010) relataram que a mistura de resíduos orgânicos ao substrato promove a melhoria das características químicas, físicas e biológicas, de modo a criar um ambiente adequado para as raízes e da planta como um todo, principalmente no seu desenvolvimento, diminuindo o uso de solo e, conseqüentemente, evitando os riscos de contaminação por pragas e doenças.

#### **2.4 Compost Barn (CB) e qualidade do composto orgânico**

O *Compost Barn* (CB) é um sistema de confinamento para bovinos o qual agrega valor à produção leiteira pelo conforto e bem-estar animal, diminuindo, assim, o gado a pasto, preservando o solo. Os resíduos desse sistema podem ser utilizados nas lavouras, como fertilizante, sendo um adubo orgânico rico em nutrientes necessários para um bom desenvolvimento das plantas (TOMAZI; GAI, 2022).

Esse sistema de alojamento de animais, também conhecido como *Compost Bedded Pack Barn*, onde os animais são estabulados em um leito geralmente de serragem (PILATTI; VIEIRA, 2017), tornou-se preferido pelos produtores. A principal diferença neste sistema está na cama de descanso dos animais, que contém nitrogênio derivado da urina e dejetos das vacas alojadas no galpão do CB. Além disso, a cama contém fontes de carbono provenientes de serragem, maravalha, palha de milho picada e casca de amendoim e café, entre outros materiais que podem ser empregados como cama (GALAMA *et al.*, 2015).

O sucesso do sistema do *Compost Barn* fundamenta-se, sobretudo, do manejo da cama, que deve ter seu revolvimento realizado pelo menos duas vezes ao dia. Quando a atividade é conduzida adequadamente, se obtêm aumento da temperatura da cama, redução da umidade e melhoria no processo de compostagem (BRIGATTI, 2014). Nesse sentido, Carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são os nutrientes primários requeridos pelos microrganismos incluídos na compostagem. N, P e K também são os principais nutrientes para as plantas, dessa forma, suas concentrações influenciam o valor do composto retirado do sistema *Compost Barn* (DAMASCENO, 2012).

De acordo com Fregonesi (2007), a utilização do resíduo das camas, após a retirada das instalações, torna-o mais interessante e sustentável, pois o processo de compostagem pode ser terminado após a retirada das camas e o produto ser distribuído na área de lavoura ou vendido para produtores como adubo, diminuindo, assim, o risco de contaminação de lençóis freáticos.

O processo de compostagem está ligado à produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água e calor, por meio da fermentação aeróbia da matéria orgânica. Dentro do sistema *Compost Barn*, as urinas e fezes das vacas proporcionam os nutrientes essenciais para que ocorra a compostagem (SILANO; SANTOS, 2012).

A fermentação da matéria orgânica presente nos esterco reduz ou inativa os microrganismos patogênicos e a toxicidade desses resíduos, antes de serem utilizados no solo. Os esterco frescos, ou não estabilizados, podem esquentar e inibir a germinação de sementes e o alongamento de raízes, além de contaminar o operador, o solo e os vegetais. Por outro lado, o uso de esterco maduro pode ter efeito estimulador no crescimento de plantas em devido à presença de nutrientes minerais, microrganismos benéficos, substâncias húmicas e as características físicas de um adubo orgânico estabilizado. A estabilidade ou maturidade é característica importante de qualidade para um adubo orgânico (TAM; TIQUIA, 1994; WU; MA, 2001).

O processo de compostagem aeróbia da cama é a principal peculiaridade do sistema *Compost Barn*, constantemente induzida pela homogeneização dos dejetos animais agregados à aeração da cama orgânica (MOTA *et al.*, 2017). O processo de compostagem do leito em sistemas *Compost Barn* é semelhante ao das pilhas de compostagem. A decomposição aeróbia é controlada pela ação dos microrganismos, e a estabilização da matéria orgânica bruta se completa com a formação do húmus. Este material de decomposição final é comumente utilizado para fins agrícolas como fertilizante (COTTA *et al.*, 2015).

No entanto, com o aumento da preocupação com os impactos ambientais gerados pelos resíduos orgânicos dos sistemas de alojamento dos animais, o interesse pelo processo de compostagem e reciclagem desses resíduos tem sido estimulado (COTTA *et al.*, 2015). A cama para descanso do gado leiteiro em sistema de confinamento *Compost Barn* pode suprir uma grande demanda por fertilizantes.

Além disso, com o crescimento contínuo da produção desses resíduos em propriedades rurais, seu uso de forma racional e sustentável diminui seu potencial poluidor e se torna economicamente viável (MOTA; ANDRADE; LEITE, 2020).

## **2.5 Ambiência no cultivo protegido de mudas**

A prática do cultivo em ambientes protegidos no Brasil teve início na década de 1980 e, desde então, tem passado por várias fases de adaptação. Atualmente, essa tecnologia é amplamente adotada em todo o território nacional, sendo cada vez mais procurada pelos produtores devido aos resultados positivos alcançados em termos de qualidade e produtividade dos cultivos. Uma das principais vantagens do cultivo protegido é a flexibilidade no calendário de plantio, permitindo a produção de espécies fora dos períodos usuais (CARON *et al.*, 2010), por meio das alterações das variáveis micrometeorológicas no interior dos ambientes, onde se obtêm melhor qualidade dos produtos (CARDOSO *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2011), aliada aos resultados de produtividade comprovadas e excelentes resultados obtidos na fase inicial de crescimento vegetal, a tecnologia de cultivo protegido conseguiu sua consolidação entre os produtores brasileiros.

Nesse sentido, a ambiência vegetal é o conjunto de elementos que compõe as condições micrometeorológicas da área/espço de produção, buscando obter as melhores condições para o desenvolvimento das plantas e melhor produtividade. Dessa forma, é importante o conhecimento e caracterização do ambiente da produção de mudas, como estufas agrícolas, viveiros, casas de vegetação, entre outras técnicas que permitem melhor utilização dos elementos micrometeorológicos (SANTOS *et al.*, 2017).

O ambiente protegido modifica o microclima interno através da diminuição da transmissividade da radiação global incidente e, conseqüentemente, melhora a distribuição espacial e temporal (diurna) da temperatura e umidade relativa do ar. Esses ambientes mantêm níveis adequados para o crescimento uniforme e melhoram a produtividade de culturas agrícolas e florestais em fase inicial de desenvolvimento (SABINO *et al.*, 2020; AHMED *et al.*, 2019).

Além disso, funcionam como barreiras contra insetos (TEITEL *et al.*, 2007) e contribuem para a redução da demanda hídrica das plantas (BORELLA *et al.*, 2020; MONTEIRO *et al.*, 2016).

Segundo Lacerda *et al.* (2010), os fatores ambientais afetam significativamente o crescimento e a produção das culturas. A taxa de crescimento dos vegetais é altamente dependente das condições meteorológicas que estão submetidos, sendo que cada espécie vegetal possui uma temperatura do ambiente e umidade relativa do ar em que o seu crescimento é ótimo (HATFIELD *et al.*, 2015; CHIA *et al.*, 2022).

Assim, o desenvolvimento de uma planta depende de vários fatores ambientais, sendo que a temperatura do ar é um dos principais elementos meteorológicos que afeta o desenvolvimento da maioria das espécies vegetais (MARTINS *et al.*, 2012; STRECK *et al.*, 2005a; SCHWERZ *et al.*, 2019).

O desenvolvimento vegetal pode ser estimado através da velocidade de emissão de folhas, sendo que a temperatura do ar tem papel fundamental neste processo, em função dos graus-dia acumulados, cuja unidade é °C dia<sup>-1</sup> (PEREIRA *et al.*, 2002). O conceito de graus-dia refere-se à soma térmica diária na qual a planta se desenvolve, calculada pela diferença entre a temperatura média do ar durante o dia e a temperatura basal (T<sub>b</sub>) específica da espécie (ARNOLD, 1959; ROSA *et al.*, 2009; SOUZA; MARTINS, 2013).

Diversos métodos estatísticos podem ser utilizados para estimar a temperatura base (T<sub>b</sub>) em espécies vegetais, sendo que o método do menor quadrado médio do erro destaca-se como um dos mais empregados e reconhecidos pela sua precisão (SINCLAIR *et al.*, 2004; SOLTANI; SINCLAIR, 2012).

A soma térmica, correlacionada ao desenvolvimento vegetal, é usada para avaliar a resposta fisiológica das plantas as condições ambientais, relacionada a processos fisiológicos como o aumento da área foliar, absorção da radiação solar, fotossíntese, acúmulo de fitomassa e evapotranspiração (SINCLAIR *et al.*, 2004; STRECK *et al.*, 2005b; DELLAI *et al.*, 2005).

Para mensurar o desenvolvimento vegetal, comumente adota-se a variável do número acumulado de folhas (ROSA *et al.*, 2009; XUE *et al.*, 2004). O intervalo de tempo entre o surgimento de duas folhas consecutivas no caule principal é denominado filocrono (MC MASTER; WILHELM, 1997), sendo expresso em °C dia folha<sup>-1</sup>.

O filocrono está descrito como o intervalo tempo ou de soma térmica entre a emissão de duas folhas sucessivas no caule principal. A preferência por contabilizar esse intervalo como a soma térmica decorre do fato de que o desenvolvimento e crescimento da planta estão

diretamente relacionados à temperatura. Assim, o filocrono serve como uma medida do desenvolvimento da planta (WILHEIM; MCMASTER, 1995).

Entre os diversos elementos ambientais que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas, a radiação solar interceptada pela folhagem também se destaca como a principal fonte de energia para processos como fotossíntese, produção de biomassa, equilíbrio energético, assimilação de dióxido de carbono e transpiração (MARISCAL *et al.*, 2000; CONSOLI *et al.*, 2006). A radiação solar, é a principal origem de energia para as plantas, visto que a maior parte é convertida em calor, promovendo o processo de transpiração, além de alterar a temperatura dos tecidos vegetais afetando as taxas dos processos metabólicos e o balanço de energia entre eles (SILVA *et al.*, 2022).

A concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é outra variável importante, pois, ela influencia o processo de produção vegetal (TERUEL, 2010). Os fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais são principalmente a intensidade luminosa, concentração de CO<sub>2</sub>, teor de nitrogênio da folha, temperatura e umidade do solo (COSTA; MARENCO, 2007).

Dessa maneira, o monitoramento das variáveis micrometeorológicas pode servir de subsídio para a execução de atividades agrícolas, pois, por meio do conhecimento da dinâmica dessas variáveis, pode-se planejar as atividades, a fim de diminuir as perdas causadas por intempéries climáticas (SILVA *et al.*, 2005) e aumentar a qualidade do produto final (ROMANI, 2010).

Assim, o monitoramento e caracterização das variáveis micrometeorológicas em ambiente protegido, dependendo do material de cobertura, o tipo de ambiente, a época do ano e a localização da produção, têm como objetivo avaliar as flutuações dessas variáveis e identificar possíveis medidas, sejam automatizadas ou manuais, com acionamento mecânico ou não, que visem aprimorar a gestão do ambiente de cultivo, prevenindo ou minimizando fatores de estresse na cultura em crescimento e, por conseguinte, proporcionando aumento na produtividade (COSTA *et al.*, 2020).

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na busca pela produção de mudas de café arábica de elevada qualidade, destaca-se a escolha do substrato e seus constituintes, pois estes desempenham papel crucial no êxito produtivo das plantas. Esses elementos desempenham função fundamental no fornecimento de suporte estrutural adequado para planta, estabelecendo ambiente propício para seu vigoroso crescimento. Todavia, é importante salientar que os substratos comerciais, embora eficazes, impõem custos elevados à produção, impactando diretamente o custo final. Diante desse cenário, visando assegurar a sustentabilidade da atividade agrícola, bem como a maximização da produtividade e rentabilidade, torna-se essencial a adoção de fontes alternativas de resíduos orgânicos para compor os substratos. A exploração dessas alternativas não apenas contribui para a redução de custos, mas também está alinhada com princípios de sustentabilidade, promovendo a utilização eficiente de resíduos orgânicos.

Entre as alternativas consideradas, destaca-se a viabilidade da utilização da cama proveniente do sistema de confinamento para bovino leiteiro, conhecido como *Compost Barn*. Esse material apresenta notável potencial como adubo orgânico, caracterizado por ser rico em macro e micronutrientes, cruciais para um bom desenvolvimento da planta.

Nesse contexto, é crucial a condução de pesquisas específicas direcionadas ao manejo adequado e à correta aplicação desses materiais na produção de mudas de café arábica, incluindo a caracterização química detalhada, visando otimizar sua utilização e maximizar os benefícios para o desenvolvimento das mudas. Assim, a produção de mudas de café arábica, em substrato composto pela cama de *Compost Barn* surge como uma prática inovadora e sustentável.

Diante do contexto de produção de mudas de café arábica, outro fator importante é a prática do cultivo protegido, que representa uma tecnologia amplamente adotada entre os agricultores, destacando-se como uma abordagem inovadora para o processo de produção vegetal. Essa técnica desempenha papel fundamental no desenvolvimento das plantas, promovendo qualidade e vigor, e permite a produção constante ao longo do ano. No entanto, para garantir a produção sustentável em ambientes protegidos, é essencial compreender os parâmetros micrometeorológicos que impactam as plantas, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento. Nesse período as plantas são mais sensíveis às variações nas condições ambientais, o que pode influenciar significativamente a formação das mudas.

## REFERÊNCIAS

- ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 74, n.1, p. 430-445, 1959.
- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L.M.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.
- AHMED, H. A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y.; AL-FARAJ, A. A.; ABDEL-GHANY, A. M. Spatial distribution of air temperature and relative humidity in the greenhouse as affected by external shading in arid climates. **Journal of Integrative Agriculture**, Amsterdã, v. 18, n. 12, p. 2869–2882, 2019. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62598-0.
- ALVES, J. D.; GUIMARÃES, R. J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, p. 169-215, 2010.
- ANDRADE, J. W. S.; FARIAS JÚNIOR, M.; SOUSA, M. A.; ROCHA, A. C. Utilização de diferentes filmes plásticos como cobertura de abrigos para cultivo protegido. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 437-443, 2011.
- ANTUNES, L.F.S.; AZEVEDO, G.; CORREIA, M.E.F. Produção de mudas de girassol ornamental e seu desenvolvimento em vasos utilizando como substrato o gongocomposto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 21, n.2, p. 299–314. <http://dx.doi.org/10.30945/rcr-v21i2.2698>.
- BOENE, M. A. C. H.; NOGUEIRA, C. A.; SOUSA, J. N.; KRATZ, D.; SOUZA, D. V. P. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 407 - 420, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i3.25789>.
- BORELLA, D.R.; SOUZA, A.P.; SILVA, A.C.; PIZZATTO, M.; KEFFER, J.F.; LIMA, D.C. Water requirements of *Dipteryx alata* Vogel Seedlings at different solar radiation levels in Cerrado-Amazon transition. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 23, n. 2, p. 1-13, 2020.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**, 2022. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politicaagricola/cafes/cafecultura-brasileira>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- BRIGATTI, A. M. **Compost Barn e a produtividade leiteira**. IEPEC, 2014. Disponível em: <<https://www.terraviva.com.br/selectus/agosto2015/2508cb.pdf/>>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- CARDOSO, L.S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARIA, G.; MARODIN, G. A. B.; DAMALGO, G. A.; SANTOS, H.P.; MANDELLI, F. Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 441-447, 2008.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; CANTARELLI, E. B.; MANFON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.4, p. 683-689, 2010.

CARVALHO, C.H.S.; FAZUOLI, L.C.; CARVALHO, G.R.; GUERREIRO FILHO, O.; PEREIRA, A.A.; ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J.B.; BARTHOLO, G.F; SERA, T.; MOURA, W.M.; MENDES, A.N. G.; REZENDE, J.C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; NACIF, A.P.; SILVAROLLA, M.B.; BRAGHINI, M.T. Cultivares de café arábica de porte baixo. In: CARVALHO, C H S de. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, v. 01, p. 155-252, 2008.

CARVALHO, H.D.P.; MELO, B. D.; RABELO, P. G.; SILVA, C. R. D.; CAMARGO, R. D. Índices bioclimáticos para a cultura de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 601-606, 2011.

CHIA, S.Y.; LIM, M.W. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Bristol, v. 1257, n. 1, p. 1-6, 2022.

CONSOLI, S.; O'CONNELL, N.; SNYDER, R. Measurements of light interception by orange orchard canopies: the case study of Lindsay (California). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.132, n.1, p. 9-20, 2006.

COSTA, E.; MARTINS, M.B.; VEDRUSCOLO, E.P.; SILVA, A.G., ZOZ, T.; BINOTTI, F.F.S.; WITT, T.W., SERON, C.C. Greenhouses within the Agricultura 4.0 interfaces. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v.51, n.5, p. 20207703, 2020.

COSTA, G. F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, Amazônia, v. 37, n.2, p. 229-234, 2007.

COTTA, J.O.; CARVALHO, N.L. C.; BRUM, T.S.; REZENDE, M.O.O. Compostagem versus vermicompostagem: Comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p.65-78, 2015.

CUNHA S.H.B. **Hidroponia modificada e espuma fenólica como inovações tecnológicas no enraizamento e crescimento de estacas de *Coffea arabica* L.** 2021. 79 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2021.

DAMASCENO, F. A. **Compost bedded pack barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model.** 2012. 391 f. Tese. (Doutorado Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/726/>>.

DELLAI, J.; TRENTIN, G.; BISOGNIN, D. A.; STRECK, N. A. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.6, p. 1269-1274, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600007.

- DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista AgroambienteOn-line**, Boa vista, Roraima, v.7, n.2, p.184-192, 2013.
- FERNANDES, A.L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, Lavras, v.8, n.4, p.486-499, 2013.
- FREGONESI, J.A.; VEIRA D.M.; VON KEYSERLINGK M.A.G.; WEARY D.M. Effects of Bedding Quality on lying Behavior of Dairy Cows, **Journal of dairy science**, Champaign, Illinois, v. 90, n.12, p. 5468-5472. 2007.
- GALAMA, P. J.; BOER, H. C.; VAN DOOREN, H. J. C.; OUWELTJES, W.; DRIEHUIS, K. **Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands**. Wageningen: Livestock Research, 83p, 2015.
- GERVASIO, C. R.; SILVA, A. C. S.; SARMENTO, M. B.; NETTO, C. G.; PINHEIRO, L. M. C.; OLIVEIRA, C. J. Substratos na produção de mudas de espécies nativas do sul do Brasil. **Magistra**, Bahia, v. 28, n. 2, p. 268-272, 2016.
- HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. **Weather And Climate Extremes**, Canadá, v. 10, p. 4-10, 2015.
- KATO, D.S.; SILVA, C.M.; HIGUCHI, M.T.; BAUCHROWITZ, I.M.; NETO, J.S.; SHIMIZU, G.D.; OLIVEIRA, A.F. Produção de mudas de maracujá amarelo submetidas a doses crescentes de adubação de liberação lenta. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, Londrina, v. 34, p.310–320, 2018.
- KOUTOULEAS, A.; SARZYNSKI, T.; BORDEAUX, M.; BOSSELMANN, A.S.; CAMPA, C.; ETIENNE, H.; TURREIRA-GARCÍA, N.; RIGAL, C.; VAAST, P.; RAMALHO, J.C.; MARRACCINI, P.; RABILD, A. Shaded-coffee: A nature-based strategy for coffee production under climate change? A review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Bélgica, v. 6, p. 877476, 2022.
- KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 63, n.3, p. 348-354, 2016.
- KRAUSE, M.R.; MONACO, P.A.V.; HADDADE, I.R.; MENEGHELLI, L. A.M.; SOUZA, T.D. Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n.2, p. 280-285, 2017.
- LACERDA, C.F.; CARVALHO, C.M.; VIEIRA, M.R.; NOBRE, J.G. A.; NEVES, A. L. R.; RODRIGUES, C. F. Análise de crescimento de milho e feijão sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 1, p. 18-24, 2010.
- LAKNER, Z.; PLASEK, B.; KISS, A.; SOÓS, S.; TEMESI, Á. Derailment or turning point? The effect of the COVID-19 pandemic on sustainability-related thinking. **Sustainability**, Basel, Suíça, v.13, n.10, p.5506, 2021.

- LIMA, A. E. D.; GUIMARÃES, R. J.; CUNHA, S. H. B. D.; CASTRO, E. D. M.; CARVALHO, A. M. D.; FARIA, M. M. L. Seedling production of *Coffea arabica* from different cultivars in a modified hydroponic system and nursery using different containers. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 45, 2021.
- LIMA, A.E.D.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; CASTRO, E.D.M.; CARDOSO, D.D.A. Desempenho agrônômico de populações de cafeeiros do grupo 'Bourbon'. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, p. 22-32, 2016.
- LIMA, E.M.; CAVICHIOLI, F.A. Desenvolvimento das mudas de café Catuaí em Diferentes Recipientes e Substratos com Adubo de Liberação Lenta Osmocote®, **V SIMTEC – Simpósio de Tecnologia -Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga**, 2019.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais orgânicos e corretivos**, Brasília: MAPA, 2017.
- MARISCAL, M.J.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F.J. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n.1, p. 65-72, 2000.
- MARTINS, F.B.; REIS, D.F.; PINHEIRO, M.V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1975-1981, 2012.
- MARTINS, L.D.; MACHADO, L.S.; TOMAZ, L.A.; AMARAL, J.F.T. The nutritional efficiency of *Coffea* spp. A review. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.14, n.9, p.728-734, 2015.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W.R.; ALMEIDA, S.R. **Cultura de Café no Brasil: Manual de recomendações**. São Paulo: Futurama/MAPA/PROCAFÉ, p.585, 2016.
- MATIELLO, J.B. O café do cultivo ao consumo. Globo, São Paulo, pp. 56–72, 1991.
- MC MASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 87, n. 4, p. 291-300, 1997.
- MELO, L.A.; ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; OLIVEIRA, R.R.; SILVA, D.T. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa Caesalpinifolia* Benth. Produzidas em Diferentes Volumes de Recipientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 47-55, 2018.
- MENEGHELLI, L.A.M.; MONACO, P.A.V.L.; HADDADE, I.R.; MENEGHELLI, C.M.; KRAUSE, M.R.; VIEIRA, G.H. S. Produção de mudas de café arábica em substrato composto por resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 381-388, 2017.
- MENEGHELLI, L.A.; MONACO, P.A.; HADDADE, I.R.; MENEGHELLI, C.M. ALMEIDA, K.M. Agricultural residues as a substrate in the production of eggplant seedlings. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n.4, p. 527-533, 2017.<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620170409>.
- MEROT-L'ANTHOENE, V.; TOURNEBIZE, R.; DARRACQ, O.; RATTINA, V.; LEPELLEY, M.; BELLANGER, L.; TRANCHANT-DUBREUIL, C.; COULÉE, M.; PÉGARD, M.; METAIRON, S.; FOURNIER, C.; STOFFELEN, P.; JANSSENS, S. B., KIWUKA, C., MUSOLI, P., SUMIRAT, U., LEGNATÉ, H., KAMBALE, J., F. C. N.;

PONCET, V. Development and evaluation of a genome-wide Coffee 8.5K SNP array and its application for high-density genetic mapping and for investigating the origin of *Coffea arabica* L. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 17, n.7, p.1418–1430, 2019. <https://doi.org/10.1111/pbi.13066>.

MIGUEL, K.S.A.C. **Características do setor cafeeiro brasileiro e perspectivas para sua expansão: um estudo bibliográfico**. 2016. 49 f. Monografia do curso de Administração, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/4935> >.

MISTRO, J.C.; RESENDE, M.D.V.; FAZUOLI, L.C.; VENCOVSKY, R. Effective population size and genetic gain expected in a population of *Coffea canephora*. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.19, n.1, p.1–17, 2019. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n1a01>.

MONTEIRO, E.B.; SILVA, A.C.; SOUZA, A.P.; TANAKA, A.A.; FERNEDA, B.G.; MARTIM, C.C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p709-715>.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 281, n. 980, p. 277-294, 1977.

MOTA, V.C.; ANDRADE, E.T.; LEITE, D.F. Uso de cama de confinamento Compost barn na adubação da cultura do milho para silagem. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, Maringá, v.13, n.4, 2020.

MOTA, V.C.; ANDRADE, E.T.; PINTO, S.M.; ABREU, L.R.D.; LEITE, D.F. Utilization of bedded cattle confinement for organic manure of maize crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 620-624, 2019.

MOTA, V.C.; CAMPOS, A.T.; DAMASCENO, F.A.; RESENDE, E.A.M.; REZENDE, C.P. A.; ABREU, L.R.; VAREIRO, T. **Confinamento para bovinos leiteiros: histórico e características**. PUBVET, v. 11, n.5, p. 424-537, 2017. Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/artigo/3864/confinamento-para-bovinos-leiteiros-histoacuterico-e-caracteriacutesticas/>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

OLIVEIRA, F.D.A.; OLIVEIRA FILHO, A.F.; MEDEIROS, J.F.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; LINHARES, P.C.F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.206-21, 2009.

OVALLE-RIVERA, O.; LADERACH, P.; BUNN, C.; OBERSTEINER, M.; SCHROTH, G. Projected shifts in *Coffea Arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PLoS One**, São Francisco, Califórnia, v.10, n.4, p.1-13, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>.

PASCOAL, L.N. **Aroma de Café: Guia prático para apreciadores de café**. 2. ed. Campinas: Fundação Educar DPaschoal, 2006.

- PARECIDO, R.J. **Nutrição e produtividade da cultura do café arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada.** Repositório institucional UNESP. 2020.
- PELOSO, A.F.; TATAGIBA, S.D.; AMARAL, J.F.T. Limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 139-147, 2017.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 478 p, 2002.
- PEREIRA, I.S.; DE LIMA, K.C. C.; MELO JUNIOR, H. B. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.4, n.2, p. 17-26, 2017.
- PEREIRA, T.B.; CARVALHO, J.P.F.; BOTELHO, C.E.; RESENDE, M. D. V.; REZENDE, J. C.; MENDES, A. N.G. (2013). Eficiência de seleção de progênies de café F4 pela metodologia de modelos mistos (REM/BLUP). **Bragantia**, Campinas, v.72, n.3, p.230-236, 2013.
- PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B. P.D. Escala para a avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.
- PILATTI, J.A.; VIEIRA, F.M.C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró-RN, v.5, n.3, p.97-105, 2017. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p97-105>
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.
- ROMANINI, C.E.B. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.11, p. 1194-1201, 2010.
- SABINO, M.; FERNEDA, B.G.; MARTIM, C.C.; BOUVIÉ, L.; SILVA, C.C.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; FELIPE, R.T.A. Initial growth of amazonian and brazilian Cerrado yellow ipe cultivated under different shading intensities and spectral wavelength. **Interciência**, Catanduva, v. 45, n. 4, p. 183-191, 2020.
- SAMPAIO, R.A.; RAMOS, S.J.; GUILHERME, D.O.; COSTA, C.A.; FERNANDES, L.A. Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco e pó de rocha. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.26, n.4, p. 499-503, 2008.
- SANTOS, T.V.; LOPES, T.C.; SILVA, A.G.; PAULA, R.D.C.M.; COSTA, E.; SILVA BINOTTI, F.F. Produção de mudas de maracujá amarelo com diferentes materiais refletor sobre bancada. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v.4, n.4, p. 26-32, 2017.
- SCHWERZ, F.; ELOY, E.; ELLI, E.F.; CARON, B.O.; PAULA, G.M.D. Temperatura e radiação solar na produção de mudas de cedro australiano. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.47, n.124, p.733-743, 2019.

SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHINE JR., J. M.; POWELL, G. MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Holanda, v.88, n. 2-3, p. 171-178, 2004. DOI:10.1016/j.fcr.2003.12.005.

SILANO, C.; SANTOS, M. V. Compost Barn: **uma alternativa para o confinamento de vacas leiteiras**. Milk Point (O ponto de encontro da cadeia produtiva do leite), 2012. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/marcoveiga-dos-santos/compost-barn-uma-alternativa-para-o-confinamento-de-vacastleiteiras-204771n.aspx>.

SILVA, J.B.M.; DANTAS, T.; SOUZA, M.I.; OLIVEIRA, F.C. Condições micrometeorológicas em ambientes protegidos. In: SOUZA, W.J.O.; GOMES, E. N.; RODRIGUES, J. S. (Orgs.). **Desenvolvimento rural e sustentabilidade: energia, produção e novos mercados**. Guarujá-SP: Científica Digital, 2022. <https://dx.doi.org/10.37885/220508790>

SILVA, J.B.; LLOPART, M.P.; BOIASKI, N. Temperatura máxima do ar em Pelotas-RS – Tabelas de probabilidades em escalas de tempo pentadal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v.20, n.2, p.267-276, 2005.

SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, 2012.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. Modeling Physiology of crop development, growth and yield. Oxfordshire: CAB Internacional, 322 p, 2012.

SOUSA, H. S.; SILVA, H. S.; GONÇALVES, D. S.; SOUZA, P. A.; SANTOS, A. F. Efeito de diferentes sistemas de produção de mudas e substratos no desenvolvimento de *Enterolobium Contortisiliquum*. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Betim, MG, v. 14, n. 2, p. 1093- 1100, 2016.

SOUZA, A. J.J., GUIMARÃES, R.J., DOMINGHETTI, A.W., SCALCO, M.S., REZENDE, T. T. Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 47, n. 2, p. 334-343, 2016.

SOUZA, D.M.S.C.; AMORIM, Y. F.; NOVAES, A.B.; SANTANA, T. M.; GM, A.; AGUIAR JUNIOR, A. L. Produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples. **Espacios**, Mérida, Venezuela, v. 38, n. 47, 2017.

SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 29, n. 2, 2013.

STRECK, N. A.; BELLÉ, R. A.; ROCHA, E. K. D.; SCHUH, M. Estimating leaf appearance and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1448-1450, 2005a.

STRECK, N. A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A.B.; SCHNEIDER, F. M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1275-1280, 2005b. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600008.

- TAM, N.F.Y.; TIQUIA, S. Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. Resources. **Conservation and Recycling**, v.11, n.1-4, p.261-274, 1994.
- TAVARES, P.S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S.C.; SILVA, A.J.P.; LYRA, A.A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental change**, v.18, p. 873–883, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1236-z>.
- TEITEL, M. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, Holanda, v. 143, n.3-4, p. 159-175, 2007. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.01.005.
- TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertiçação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.3 p. 237-245, 2010.
- TOLEDO, P. R.; MELO, M. M.; PEZZA, H. R.; TOCI, A. T.; PEZZA, L.; SILVA, C. M. Discriminant analysis for unveiling the origin of roasted coffee samples: A tool for quality control of coffee related products. **Food Control**, Amsterdã, v. 73, p. 164-174, 2017.
- TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N. Produção de mudas e plantio. SAKIYAMA, N. S. et al. (eds). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 46-63, 2015.
- TOMAZI, C.V.; GAI, VIVIAN, F. Produtividade de milho para silagem com utilização do Compost Barn. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 15, p. 9-19, 2022.
- TRAZZI, P.A., CALDEIRA, M.V.W., PASSOS, R.R., & GONÇALVES, E.D.O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.3, p.401-409, 2013.
- VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n. 1, p. 55-60, 2010.
- VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; CUNHA, R. L.; CARVALHO, G. R.; DIAS, F. P. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação, sob estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n, 2, p. 320-328, 2010.
- WILHELM, W.W.; MCMASTER, G.S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, Madison-Wisconsin, v.35, p.1-3, 1995.
- XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdã, v.175, n. 3, p. 261-270, 2004.
- ZHANG, L.; ZHANG, H.; WANG, Z.; CHEN, G.; WANG, L. Dynamic changes of the dominant functioning microbial community in the compost of a 90-m<sup>3</sup> aerobic solid state fermentor revealed by integrated meta-omics. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v. 203, p.1–10, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.040>.
- ZHU, X.G.; LONG, S.P.; ORT, D.R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto-Califórnia, v.61, p. 235-261, 2010.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1: REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE *COMPOST BARN* COMO UM IMPORTANTE COMPONENTE NO SUBSTRATO: EFEITOS NA QUALIDADE E CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica* L.)**

**ARTIGO REDIGIDO CONFORME O MANUAL DE NORMALIZAÇÃO E ESTRUTURA DE TRABALHOS ACADÊMICOS: TCCS, MONOGRAFIAS, DISSERTAÇÕES E TESES 4ª EDIÇÃO REVISTA, ATUALIZADA E AMPLIADA**

**REAPROVEITAMENTO DA CAMA DE COMPOST BARN COMO UM  
IMPORTANTE COMPONENTE NO SUBSTRATO: EFEITOS NA QUALIDADE E  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA (*Coffea arabica* L.)**

**RESUMO**

A espécie *Coffea arabica* L. é uma das commodities mais importantes do Brasil. O país destaca-se como o principal produtor e exportador desse produto em escala global. A formação adequada das mudas depende essencialmente da composição dos substratos, sendo o uso de materiais orgânicos uma alternativa sustentável para promover a produtividade das mudas em sistemas de cultivo protegido. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de mudas de café arábica em ambiente protegido, empregando o resíduo orgânico proveniente do sistema *Compost Barn* como substrato, visando contribuir para a agricultura sustentável. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, em que foram utilizadas duas cultivares: MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62, e cinco substratos: S<sub>1</sub>: Substrato padrão de café (30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato + cloreto de potássio + calcário); S<sub>2</sub>: (50% de cama de *Compost Barn* + 50% de terra de subsolo); S<sub>3</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo); S<sub>4</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 30% de areia + 40% terra de subsolo); S<sub>5</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo + Superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico). As avaliações morfológicas e suas relações foram realizadas aos 180 dias após a semeadura. Os dados foram submetidos às análises de variância pelo teste F e comparação entre médias pelo Teste de Tukey e Análise dos Componentes Principais. A interação entre os fatores substratos e cultivares apresentou efeito significativo para as variáveis: emergência, altura da parte aérea, diâmetro do coleto, comprimento radicular, número de pares de folhas, massa fresca da parte aérea e da raiz e massa seca da parte aérea e raiz, proporcionando incremento no desenvolvimento das plantas. As mudas de café arábica foram influenciadas pelos diferentes substratos formulados a partir da cama de *Compost Barn*. Onde o S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> proporcionaram os melhores resultados para maioria das variáveis analisadas. No entanto novos estudos devem ser conduzidos no sentido de otimizar a formulação dos substratos utilizados na produção de mudas de café, em especial o uso do S<sub>3</sub>: (30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo), avaliando ajustes nas proporções e seu impacto nas diferentes cultivares de café arábica.

**Palavras-chave:** Agricultura Sustentável. Café arábica. Produção vegetal. Reaproveitamento de resíduos.

## ABSTRACT

The species *Coffea arabica* L. is one of the most important commodities in Brazil. The country stands out as the main producer and exporter of this product on a global scale. Adequate seedling formation essentially depends on the composition of the substrates, with the use of organic materials being a sustainable alternative to promote seedling productivity in protected cultivation systems. Thus, the objective of this work was to evaluate the production of Arabica coffee seedlings in a protected environment, using organic waste from the *Compost Barn* system as a substrate, aiming to contribute to sustainable agriculture. The experimental design was completely randomized, in a 2x5 factorial scheme, in which two cultivars were used: MGS Paraíso 2 and Catuaí Amarelo IAC 62, and five substrates: S<sub>1</sub>: Standard coffee substrate (30% cattle manure + 70% subsoil + superphosphate + potassium chloride + limestone); S<sub>2</sub>: (50% *Compost Barn* litter + 50% subsoil soil); S<sub>3</sub>: (30% *Compost Barn* litter + 70% subsoil soil); S<sub>4</sub>: (30% *Compost Barn* litter + 30% sand + 40% subsoil); S<sub>5</sub>: (30% *Compost Barn* litter + 70% subsoil soil + Simple superphosphate, potassium chloride and dolomitic limestone). Morphological evaluations and their relationships were carried out 180 days after sowing. The data were subjected to analysis of variance using the F test and comparison between means using the Tukey Test and Principal Component Analysis. The interaction between the substrate and cultivar factors had a significant influence on the variables: emergence, height of the aerial part, stem diameter, root length, number of pairs of leaves, fresh mass of the aerial part and root and dry mass of the aerial part and root, providing an increase in plant development. Arabica coffee seedlings were influenced by different substrates formulated from *Compost Barn* litter. Where S<sub>1</sub> and S<sub>3</sub> provided the best results for most of the variables analyzed. However, new studies must be conducted to optimize the formulation of substrates used in the production of coffee seedlings, in particular the use of S<sub>3</sub>: (30% *Compost Barn* litter + 70% subsoil soil), evaluating adjustments in the proportions and its impact on different Arabica coffee cultivars.

**Keywords:** Sustainable Agriculture. Arabica coffee. Vegetables production. Reuse of waste.

## 1 INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea arabica* L. é uma importante cultura em vários países tropicais, constituindo-se como atividade agrícola de grande relevância no cenário econômico nacional, desempenhando função fundamental para o desenvolvimento do Brasil (ZHANG *et al.*, 2021). A área total destinada à cafeicultura no país em 2023, para os cafés arábica e conilon, totalizava 2,24 milhões de hectares, sendo com 1,88 milhão de hectares em produção, com crescimento de 1,9% em relação ao ano anterior, e 362,5 mil hectares em formação, com redução de 9,3% (CONAB, 2023).

O Café é uma das *commodities* mais importantes do Brasil. O país destaca-se como o principal produtor e exportador desse produto em escala global, bem como o seu segundo maior consumidor, destacando-se pela sua elevada influência sobre o contexto internacional do agronegócio (MAIA *et al.*, 2020).

Na cafeicultura, um dos principais desafios e lacunas para a melhoria na produtividade se refere a produção de mudas de qualidade. O cultivo de mudas representa o ponto inicial e fundamental para o sucesso de toda a cadeia produtiva de mudas café. A seleção criteriosa de cultivares na fase de mudas é de extrema importância, pois determina não apenas a produtividade, mas também a resistência a doenças, a adaptabilidade a diferentes ambientes e, conseqüentemente, a qualidade final do produto.

O estudo da variabilidade de comportamentos entre cultivares de café arábica é uma ferramenta essencial, de modo a identificar cultivares ou grupos de cultivares que apresentam respostas diferenciadas quando exploradas em regiões ou sistemas específicos de cultivo (FERREIRA *et al.*, 2020). As principais cultivares de café arábica são do grupo Catuaí, as quais têm se destacado pela elevada adaptação a diversas regiões (BOTELHO *et al.*, 2010). Contudo, a cultivar MGS Paraíso 2 vem apresentando elevada produtividade em diversos ambientes estudados, demonstrando ampla adaptação às regiões produtoras de café de Minas Gerais.

No que diz respeito à produção de mudas, o uso de tecnologias inovadoras para a produção de mudas se torna fundamental, sendo um dos elementos mais importantes na implantação da lavoura cafeeira (CUNHA *et al.*, 2022). Portanto, a busca por novas tecnologias e métodos de produção de mudas é essencial para aprimorar o desenvolvimento da cafeicultura, tornando-a mais atrativa e rentável para os produtores rurais (LIMA *et al.*, 2021).

Para formação adequada das mudas, a composição dos substratos é essencial para assegurar a produtividade, pois é um fator de grande importância para qualidade das plantas

produzidas, bem como na garantia de uma população de plantas adequada, evitando replantios desnecessários. Apesar de os substratos comerciais possuírem boa aceitação no mercado e serem considerados de boa qualidade, eles apresentam elevado custo, o que onera a produção de mudas. Para minimização de gastos com esses insumos, faz-se necessária a realização de pesquisas que visem o aproveitamento econômico de resíduos orgânicos (SOUZA *et al.*, 2017).

Visando mitigar a problemática decorrente do descarte inadequado dos resíduos orgânicos provenientes dos sistemas *Compost Barn* (CB), buscando destinação ambientalmente adequada, surge como uma entre as alternativas sustentáveis, a utilização desses resíduos na formulação dos substratos para a produção de mudas de café arábica.

A adição de fontes de matéria orgânica ao solo contribui não só para o fornecimento de nutrientes, mas também para a melhoria dos atributos físicos do meio de cultivo. Assim, o uso de resíduos orgânicos de forma equilibrada, em formulações de substratos, é de fundamental importância para o pleno desenvolvimento das plantas quando estão na fase de mudas (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

No entanto, o substrato da decomposição final do processo de compostagem em sistemas *Compost Barn* (CB), tem sido mais largamente empregado para fins agrícolas, como fertilizante. Essa compostagem, que se dá no interior da instalação de confinamento, é formada pela serragem, maravalha, ou outras fontes de carbono utilizadas como cama, junto às fezes e urina das vacas (BRIGATTI, 2014). Semelhante ao das pilhas de compostagem, a decomposição aeróbia é realizada pela ação dos microrganismos, e a estabilização da matéria orgânica bruta se completa com a formação do húmus (COTTA *et al.*, 2015). Assim, a utilização de resíduos orgânicos, como o de *Compost Barn*, representa forma equilibrada de fornecer propriedades nutricionais e minerais as plantas (MOTA *et al.*, 2020).

Estudos recentes mostraram que o uso do *Compost Barn* teve impactos significativos na produtividade do milho, promovendo melhorias substanciais nas características químicas do solo nos teores de P, C, MO, SB, T e V%. Além de ter contribuído para o desenvolvimento no diâmetro de colmo e número de folhas (TOMAZI; GAI, 2022). Mota *et al.*, (2019) em seu estudo com o aproveitamento da cama de *Compost Barn*, verificou maior produção de matéria seca da parte aérea e todas as variáveis de crescimento do milho quando comparado aos tratamentos sem o uso de composto. Esses estudos não apenas destacaram a eficácia do uso do *Compost Barn*, mas também evidenciaram sua notável viabilidade, resultando em redução de custos para os produtores.

Para a produção de mudas de qualidade é necessário fornecer à planta condições adequadas para o seu desenvolvimento, condições estas de nutrição, ambiência e suporte físico para o desenvolvimento da estrutura radicular. Essas condições podem ser proporcionadas às plantas a partir da utilização de ambientes protegidos para o seu cultivo (ZAMBOLIM *et al.*, 2004). Os ambientes protegidos, dependendo do tipo de material utilizado, podem influenciar nas respostas fisiológicas das mudas (ATROCH *et al.*, 2001). Portanto, é crucial estudar e compreender as condições micrometeorológicas em ambiente protegido, uma vez que esses fatores desempenham um papel essencial no sucesso do cultivo.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a produção de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) em ambiente protegido, empregando o resíduo orgânico proveniente do sistema *Compost Barn*, visando contribuir para uma cafeicultura sustentável.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Construções, Ambiência e Sustentabilidade, do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Lavras - UFLA, situada na cidade de Lavras, sul do Estado de Minas Gerais, com uma altitude média de 910 metros, latitude de 21°14'06"S e longitude de 45°00'00"W. A classificação climática proposta por Köppen é do tipo Cwa, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1.530 mm e temperatura média anual de 19,4°C (DANTAS *et al.*, 2007).

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A estrutura é tipo capela, com área total de 233,3 m<sup>2</sup>, largura de 8,1 m, comprimento de 28,8 m, pé-direito de 2,0 m e altura total de 3,5 m, orientada no sentido Leste-Oeste, coberta por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 µm de espessura. Os fechamentos transversais e longitudinais possuem tela sombrite (50%) (Figura 1A). As unidades experimentais foram distribuídas sobre uma bancada, com altura de 1 m do nível do solo, comprimento de 8 m e largura de 1 m (Figura 1B).

Figura 1 - Casa de vegetação (A) e unidades experimentais dispostas sobre a bancada (B).



Fonte: Acervo da pesquisa.

## 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x5, correspondendo a duas cultivares: MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62, e cinco substratos: S<sub>1</sub>: Substrato padrão de café (30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato + cloreto de potássio + calcário); S<sub>2</sub>: (50% de cama de *Compost Barn* + 50% de terra de subsolo); S<sub>3</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo); S<sub>4</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 30% de areia + 40% terra de subsolo); S<sub>5</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo + Superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico), com cinco repetições, cada parcela experimental foi constituída por quatro sacos de polietileno com dimensões 10 cm de largura x 20 cm de altura, totalizando 200 sacos de mudas.

## 2.3 Condução do experimento

O solo usado no preenchimento dos sacos de polietileno foi a terra de subsolo, coletado em local mais próximo e a cama do *Compost Barn* utilizada foi proveniente da fazenda Progresso Olaria, situada na comunidade Cajuru do Cervo, no município de Lavras-MG. Foram coletadas amostras do solo em profundidade de 0 a 20 cm para análises físico-químicas iniciais em Laboratório, conforme metodologia da Embrapa (1997).

O sistema consiste em um galpão retangular que possuía uma grande área comum, denominada de área de descanso, projetada para oferecer espaço suficiente para o descanso e a movimentação das vacas. Os animais confinados são raça holandesa preto e branca, na densidade de 10 m<sup>2</sup> por vaca. A cama é composta principalmente por serragem, acrescentando

um pouco de maravalha, a espessura média da cama varia, mas geralmente é mantida em níveis adequados para garantir o conforto e o bem-estar dos animais. A cama é revolvida de duas a três vezes ao dia, durante os períodos de ordenha, permitindo a aeração adequada e otimizando o processo de compostagem. A reposição da cama é realizada periodicamente, com o tempo de duração dependendo das condições específicas da operação.

A coleta da cama do *Compost Barn* foi realizada removendo-se a parte superior da cama, coletando apenas a parte inferior já fermentada, em sete pontos do sistema de confinamento bovino, em uma distância de 4 m entre os pontos um, dois e três, enquanto, nos pontos quatro, cinco e seis, em uma distância de 7 m e, para o sétimo ponto, 7,5 m, afim de ter uma amostra representativa. Foi realizada a coleta da temperatura superficial e interna da cama. Posteriormente, a cama do *Compost Barn* ficou em descanso para sua estabilização por 30 dias.

Em seguida, foi realizada a mistura dos materiais para composição dos substratos, conforme os tratamentos estabelecidos, e coletadas amostras para análise química (EMBRAPA, 1997). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características físicas do solo utilizado na composição dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA.

<b>Análise granulométrica (dag kg<sup>-1</sup>)</b>			
Classificação do solo	Argila	Silte	Areia
Solo Tipo 3	68	14	18

Solo Tipo 1: Textura Arenosa; Solo Tipo 2: Textura Média; Solo Tipo 3: Textura Argilosa.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Tabela 2 - Caracterizações físico-químicas iniciais dos substratos utilizados no experimento, realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>S<sub>4</sub></b>	<b>S<sub>5</sub></b>
CE	mS cm <sup>-1</sup>	2,24	1,68	0,80	0,90	3,15
pH	-	6,4	7,8	7,5	8,5	7,1
Al	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,10	0,10	0,10	0	0,10
S	mg dm <sup>-3</sup>	579,60	73,80	39,10	36,80	562,90
P	mg dm <sup>-3</sup>	95,63	45,40	16,35	21,36	115,62
Mg	cmolc dm <sup>-3</sup>	1,93	2,80	1,86	1,68	1,92

K	mg dm <sup>-3</sup>	903,89	1207,21	799,92	913,44	1520,02
Ca	cmolc dm <sup>-3</sup>	5,79	3,13	2,27	2,12	5,64
N	g kg <sup>-1</sup>	2,99	3,96	2,51	1,40	1,71
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	20,10	24,40	18,80	41,80	23,10
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	71,50	32,70	29,40	68,80	37,90
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	9,70	9,10	6,40	6,80	6,80
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	2,93	0,64	0,96	1,25	5,05
Na	mg dm <sup>-3</sup>	140,00	304,00	196,00	213,00	268,00
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,19	0,35	0,31	0,31	0,25

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. CE: Condutividade Elétrica; pH: Potencial Hidrogeniônico; Al: Alumínio; S: Enxofre; P: Fósforo; Mg: Magnésio; K: Potássio; Ca: Cálcio; N: Nitrogênio; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Na: Sódio; B: Boro.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em relação à composição dos cinco substratos que foram adotados no preenchimento dos sacos de polietileno, o primeiro substrato foi o padrão de café, composto por 30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato simples + cloreto de potássio + calcário dolomítico, que foi formulado com base na indicação de Sakiyama *et al.* (2015), os quais recomendam para cada m<sup>3</sup> de substrato utilizar 700 L de terra peneirada, 300 L de esterco de curral curtido e peneirado com adição de 3 a 5 kg de superfosfato simples e 0,5 a 1,0 kg de cloreto de potássio e 1,0 a 2,0 kg de calcário dolomítico. Para os demais substratos, foi utilizado o composto orgânico para as formulações, proveniente do sistema *Compost Barn* e terra de subsolo (“barranco”), previamente peneirada, para retirada de materiais indesejados, sendo que o material não passou por nenhum tipo de correção ou tratamento preliminar. O segundo substrato foi formulado com 50% de cama de *Compost Barn* + 50% de terra de subsolo e o terceiro substrato foi formulado com 30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo. Enquanto, para a quarta formulação, foi acrescentada areia lavada, adquirida no departamento de cafeicultura, correspondendo a 30% de cama de *Compost Barn* + 30% de areia + 40% terra de subsolo. O quinto substrato foi formulado com 30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo, adicionando-se superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico, nas proporções recomendadas para o substrato padrão do café, como citado anteriormente. Os substratos foram formulados com base nos trabalhos desenvolvidos por Sakiyama *et al.* (2015), Ferreira *et al.* (2020), Santos *et al.*, (2021), Souza *et al.*, (2017), Cunha *et al.*, (2002) e Verdonck, (1984).

As cultivares utilizadas no experimento foram a MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62. As sementes foram adquiridas da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Estudar duas cultivares permite explorar a diversidade genética e entender como elas influenciam no desempenho das plantas. As cultivares de café podem ter diferenças genéticas significativas que afetam características como resistência a pragas, adaptação a condições climáticas específicas e produtividade.

A semeadura foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2023, sendo semeadas duas sementes a uma profundidade de 1,0 cm em cada saco de polietileno, de acordo com Tomaz *et al.* (2015), que foram irrigados diariamente, de modo a manter a umidade à capacidade de campo, em todos os tratamentos. O desbaste foi feito quando as mudas se encontraram no estágio “orelha de onça” (iniciando a emissão do primeiro par de folhas verdadeiras). Não foi necessária a realização de controle sanitário. Já o controle das plantas daninhas foi realizado por meio da retirada manual.

Durante o período de produção das mudas, foi realizado monitoramento e caracterização do comportamento de variáveis micrometeorológicas, e foram coletadas médias horárias no interior do ambiente protegido, da temperatura do ar (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (Rg, Wm<sup>-2</sup>), concentração de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>, ppm) e temperatura superficial do substrato (°C), no período experimental de 23 de fevereiro de 2023 a 23 de agosto de 2023.

Para coletar os dados de temperatura e a umidade relativa do ar, foram instalados na casa de vegetação dataloggers com sensores de temperatura e umidade relativa do ar (HOBO U10-003), com precisão de ±0,35°C (0°C a 50°C), sensor de umidade relativa com precisão de ±2,5% (10% a 90% de umidade relativa). Foram utilizados três equipamentos desse tipo, instalados em três pontos, sendo que o ponto 1 correspondeu ao centro geométrico da instalação, a 1,5 m do solo. Os pontos 2 e 3 foram espacializados sobre a bancada com as unidades experimentais. Os instrumentos foram pré-configurados para realizarem leituras automaticamente a cada 10 minutos, durante as 24h, durante todo período experimental. Para o ambiente externo, as médias diárias foram calculadas a partir dos valores de T e UR, obtidos da estação meteorológica, da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

A Radiação solar global (Rg) foi determinada com auxílio de um piranômetro (medidor de energia solar digital portátil mod. MES-100). A Rg foi medida nos três pontos definidos na instalação, sendo que nos pontos 2 e 3 a radiação global foi determinada tanto abaixo do dossel das mudas, quanto acima do dossel das mudas, bem como no exterior da instalação no mesmo

ponto durante todo o período, sem interferência de edificações. A radiação solar global dentro da estufa foi estimada considerando a transmissividade da cobertura plástica da radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa.

Para obter maior precisão, a Radiação global ( $R_g$ ) foi determinada no ambiente externo próximo à casa de vegetação, no mesmo ponto durante todo o período, sem que houvesse interferência de edificações, utilizando o medidor de energia solar digital portátil modelo MES-100.

As concentrações de  $CO_2$  foram determinadas utilizando o monitor de  $CO_2$  Telaire 7001, com precisão de  $\pm 50$  ppm, as leituras eram exibidas pelo equipamento acerca de cada 30 segundos. As determinações de  $R_g$  e  $CO_2$  foram realizadas nos pontos pré-estabelecidos e ocorreram das 9 às 18 horas, em um intervalo de 3 horas entre as medições (9, 12, 15 e 18 h), os dados foram coletados três dias por semana (segunda, quarta e sexta). A partir dos dados obtidos nos três pontos elencados, foram calculadas as médias dessas variáveis para o ambiente interno para cada dia de avaliação.

## 2.4 Características avaliadas

Foram realizadas contagens das plântulas diariamente, até a sua estabilização, para verificação da Emergência (E), segundo Carvalho e Nakagawa (2012), e Índice de Velocidade de Emergência (IVE), conforme proposto por Maguire (1962), utilizando as seguintes equações:

$$E = \left( \frac{N}{A} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: E = Emergência; N = número de plântulas no final do teste e A = número de sementes semeadas.

$$IVE = \left( \frac{E_1}{N_1} \right) + \left( \frac{E_2}{N_2} \right) + \dots + \left( \frac{E_n}{N_n} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: IVE = Índice de velocidade de emergência;  $E_1, E_2, E_n$  = número de sementes emergidas computadas em cada contagem e  $N_1, N_2, N_n$  = número de dias, em relação à data da semeadura.

As características morfológicas foram avaliadas aos 180 dias após a semeadura (DAS), quando a idade das mudas era considerada adequada para o plantio (MATIELLO *et al.*, 2010), considerando as seguintes variáveis:

**Número de pares de folhas verdadeiras** - foi computado os números de pares de folhas das plantas e calculado o número médio de pares folhas verdadeiras por planta.

**Altura da planta (H)** - determinada com o auxílio de uma régua graduada (cm), tendo como base o colo da planta até o seu meristema apical.

**Diâmetro do coleto (DC)** - determinado usando um paquímetro digital (mm), tendo como base o nível do substrato.

**Área foliar (AF)** - A área foliar foi obtida através da utilização do integrador de área foliar modelo LI-3100C.

**Índices de clorofila (IC)** - foram determinados por meio do SPAD-502 Plus Medidor de Clorofila em três pontos distintos de cada folha totalmente expandida, com comprimento do limbo foliar de no mínimo 1,0 cm, realizando-se a média de cada uma delas e, posteriormente, a média de cada planta.

Figura 2 - Avaliações das características agronômicas das mudas de café arábica em casa de vegetação (UFLA).



Fonte: Acervo da pesquisa.

Em seguida, as plantas eram retiradas dos sacos de polietileno e posteriormente separadas as folhas, os caules e raízes. Estas últimas por meio de corte na região do colo para determinação do comprimento radicular, com auxílio de régua graduada (cm).

Logo após, o material foi acondicionado em sacos de papel kraft e identificados. Era feita a pesagem, considerando a massa fresca da parte aérea calculada pelo somatório das massas: folha + caule, e da raiz, com o auxílio da balança de precisão para determinação da massa fresca e posteriormente estas amostras eram colocadas na estufa a  $60\pm 5^{\circ}\text{C}$  com circulação de ar até o peso constante para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR).

Foi verificada a relação da altura da planta/diâmetro do coleto (H/DC), relação da massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), obtido em função da MST, da H, do DC, da MSPA e da MSR, mediante a seguinte equação (DICKSON *et al.*, 1960):

$$IQD = \left( \frac{\frac{MST}{H}}{\frac{DC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: MST = massa seca total (g); H, altura (cm); DC = diâmetro do coleto (mm); MSPA = massa seca da parte aérea (g) e MSR = massa seca da raiz (g).

Referentes aos dados citados, foram calculadas as medidas de crescimento não lineares, propostas por Oliveira *et al.* (2002):

**Razão de peso foliar (RPF)** - fração de matéria seca produzida pela fotossíntese, não utilizada na respiração, nem exportada para outras partes da planta, retida nas folhas. Representa o quanto a planta investiu da sua produção via fotossíntese para as folhas. É um cálculo adimensional.

$$RPF = \frac{PSF}{PSF+PSC+PSR} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: PSF = peso de matéria seca da folha; PSC = peso seco do caule e PSR = peso seco da raiz.

**Razão de área foliar (RAF)** - relação entre área foliar específica e razão de peso foliar, isto é, representa área foliar disponível para ocorrer a fotossíntese.

$$RAF = \frac{AF}{PSF+PSC+PSR} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: AF = área da folha; PSF = peso seco da folha; PSC = peso seco do caule e PSR = peso seco da raiz.

## 2.5 Análise estatística

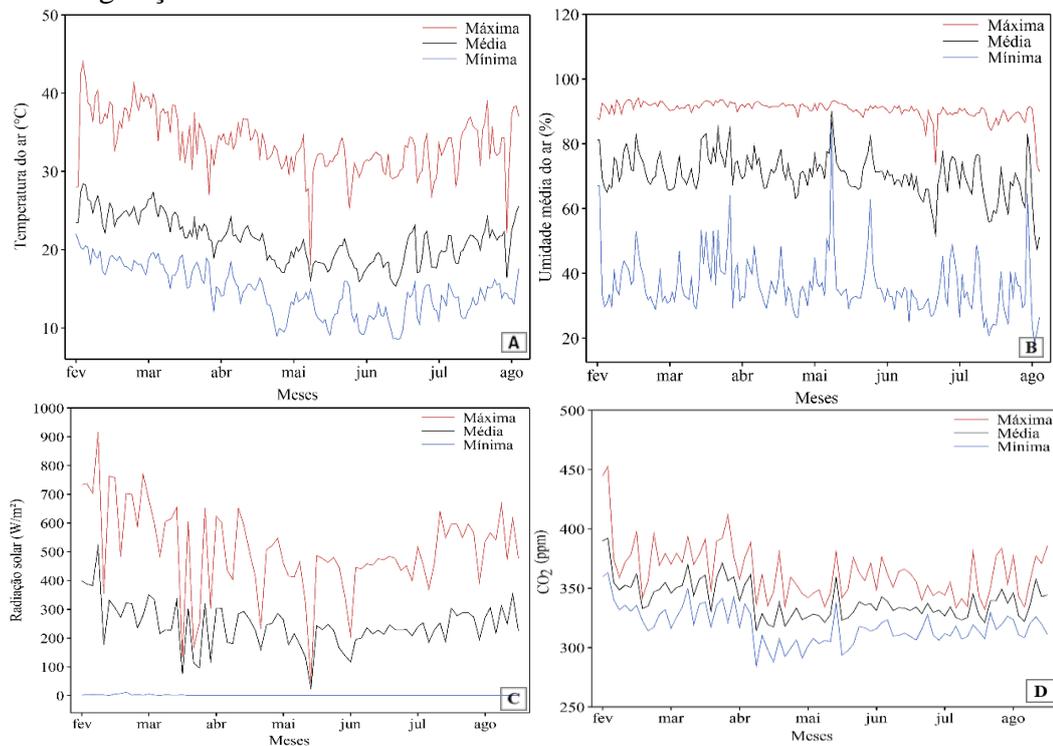
Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ( $p < 0,05$ ). Quando significativa a interação entre os fatores Substratos e Cultivares foi desdobrada para o estudo do efeito de um fator dentro do outro. As médias foram submetidas ao Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O software utilizado foi o SISVAR versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

A Análise multivariada foi empregada para auxiliar na interpretação do grande conjunto de dados obtidos, por meio da Análise dos Componentes Principais ACP (*Principal Component Analysis - PCA*) que foi realizada com o objetivo de verificar quais as variáveis que se correlacionaram com os tratamentos propostos. Para a análise, foram considerados os dados médios de todas as variáveis agrônômicas estudadas e suas relações. O *software* utilizado foi o *RStudio* versão 2021 (*R CORE TEAM, 2021*).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar variou durante o período de produção das mudas no ambiente protegido de 8,5 a 44,0°C, com temperatura média do ar de 22,6°C (Figura 3A). Com relação à variável umidade relativa do ar, a variação foi de 18,6 a 94,2%, com umidade média de 67% (Figura 3B). A radiação solar variou durante o período analisado de 0 a 919,76 W m<sup>-2</sup> com média de 250,07 W m<sup>-2</sup> (Figura 3C). Na análise da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) obteve variação de 284 a 453 ppm e média de 340 ppm (Figura 3D).

Figura 3 - Variação da temperatura do ar (°C) (A), umidade relativa do ar (°C) (B), radiação solar (W m<sup>-2</sup>) (C), dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (ppm) (D) no ambiente interno casa de vegetação.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Na Tabela 3, são apresentados os valores de Emergência (%) das mudas de café arábica aos 120, 150 e 180 DAS. Para essa análise, verificou-se efeito significativo para interação entre os fatores estudados substratos (S) e cultivares (C), para ambos os dias de avaliação.

Em relação a cultivar MGS Paraíso, aos 120, 150 e 180 DAS, observou-se, durante o período de avaliação, que o S<sub>5</sub> apresentou maior média de emergência das plântulas de café arábica, com 87,8% para ambos dias de avaliação, porém, não diferiu estatisticamente dos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub>, havendo uma estabilidade nos valores para os S<sub>1</sub> e S<sub>5</sub>, mantendo-se constante ao longo do tempo. Ainda, para essa cultivar, a menor média verificada foi para o S<sub>4</sub>, com 52,5% de emergência aos 180 DAS.

Enquanto, na análise dos substratos, para a cultivar Catuaí Amarelo, a maior média verificada foi no S<sub>3</sub>, apresentando emergência de 82,5% aos 120 e 150 DAS, e 87,5% aos 180 DAS. Porém, não houve diferença estatística para S<sub>2</sub> e S<sub>5</sub> ao longo dos dias de avaliação. A menor média foi registrada no S<sub>4</sub>, com 20% de emergência aos 120 e 150 DAS, e 25% aos 180 DAS. Observa-se que o S<sub>3</sub> apresentou estabilidade entre 120 a 150 DAS, e aos 180 DAS teve um pico de emergência. Enquanto o S<sub>2</sub> mostrou-se constante a partir dos 150 DAS e o S<sub>5</sub> apresentou estabilidade desde o início das avaliações.

Tabela 3 - Efeito dos substratos sobre a emergência (%) das mudas de café arábica nas cultivares, MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Emergência %					
	MGS Paraíso 2			Catuaí Amarelo IAC 62		
	120 DAS	150 DAS	180 DAS	120 DAS	150 DAS	180 DAS
S <sub>1</sub>	70,4 ab	70,4 ab	70,4 ab	45,2 bc	45,2 bc	45,2 bc
S <sub>2</sub>	60,0 ab	60,4 ab	60,4 ab	65, 2 ab	70,2 ab	70,2 ab
S <sub>3</sub>	72,6 ab	75,2 ab	77,5 ab	82,5 a	82,5 a	87,5 a
S <sub>4</sub>	50,2 b	52,8 b	52,5 b	20,0 c	20,0 c	25,0 c
S <sub>5</sub>	87,8 a	87,8 a	87,8 a	67,6 ab	67,6 ab	67,6 ab
CV (%)	28,80	28,37	28,39	28,80	28,37	28,39

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Os resultados obtidos na avaliação da cultivar MGS Paraíso indicam que, apesar da ausência de diferença estatística entre o S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> e S<sub>5</sub>, é possível observar a consistência no desempenho do S<sub>5</sub> ao longo do tempo, indicando que pode ser uma escolha promissora para a

emergência de plântulas de café arábica. A estabilidade demonstrada por este substrato ao longo do tempo pode ser interpretada como uma característica desejável para a condução bem-sucedida do processo de emergência das plântulas da referida cultivar.

Similarmente, no caso da cultivar Catuaí Amarelo, o S<sub>3</sub> se destacou ao apresentar a maior média para ambos os dias de avaliação, evidenciando sua superioridade em relação ao substrato padrão (S<sub>1</sub>). Este resultado sugere que o S<sub>3</sub> pode ser considerado um substrato mais eficaz para a emergência de plântulas para essa cultivar específica, indicando efeito positivo da utilização da cama de *Compost Barn* para estabelecimento inicial das plântulas. Contudo a composição da cama pode ter interferido, pois, a adição de adubos orgânicos pode melhorar as características químicas e físicas do solo, podendo influenciar as etapas fenológicas durante os ciclos de vida de diversas espécies de plantas, alterando a germinação de sementes e, conseqüentemente, a emergência (SANTOS *et al.*, 2022).

Em relação a outros trabalhos, Torres *et al.* (2012), avaliando a emergência de plântulas de cafeeiro com substratos de borra de café (BC), com a cultivar Catuaí vermelho IAC 144, mergulhadas em água morna por 10 minutos antes da semeadura, obtiveram um percentual de emergência de 34,39% aos 120 DAS e 71,88% aos 150 DAS, obtendo resultados inferiores aos 120 DAS, quando comparado aos da presente pesquisa, e na avaliação dos 150 DAS obtiveram valores inferiores ou próximos ao verificado para maioria dos substratos.

Glaeser *et al.* (2010), avaliando a biomassa microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo orgânico do cafeeiro, comprovaram ainda mais os benefícios do cultivo orgânico, mostrando que as culturas diversificadas e a incorporação de compostos orgânicos influenciaram diretamente a microbiota do solo. Esses estudos indicam coletivamente que o uso de substratos orgânicos pode potencializar a emergência e o crescimento de mudas do café arábica.

Essas observações proporcionam percepções importantes para a seleção de substratos adequados na produção de mudas de café arábica, destacando a importância da consistência ao longo do tempo e da superioridade relativa de substratos específicos para diferentes cultivares. Isso produz implicações práticas significativas para otimizar os métodos agrícolas, maximizando a emergência e o estabelecimento inicial das plântulas.

Em relação à análise do Índice de Velocidade de Emergência (IVE) aos 120, 150 e 180 DAS, não foi verificado efeito significativo para interação entre os fatores analisados, substratos (S) e cultivares (C). No entanto constatou-se que houve diferença significativa para a fonte de variação substrato e cultivar de maneira isolada. Dessa forma, analisando as médias de IVE

para o fator substrato, constatou-se que o S<sub>3</sub> apresentou maiores médias, registrando 0,091, 0,092 e 0,093 aos 120, 150 e 180 DAS respectivamente, não diferindo estatisticamente do S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>5</sub>, enquanto, o menor índice médio foi verificado no S<sub>4</sub> com 0,038 aos 120 e 150 DAS, e 0,039 aos 180 DAS (Tabela 4).

Tabela 4 – Efeito isolado dos substratos sobre o Índice de Velocidade de Emergência (IVE) das mudas de café arábica aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	IVE		
	120 DAS	150 DAS	180 DAS
S <sub>1</sub>	0,065 ab	0,065 ab	0,065 ab
S <sub>2</sub>	0,069 a	0,072 a	0,072 a
S <sub>3</sub>	0,091 a	0,092 a	0,093 a
S <sub>4</sub>	0,038 b	0,038 b	0,039 b
S <sub>5</sub>	0,079 a	0,080 a	0,080 a
CV (%)	35,03	33,98	33,86

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Verificando o efeito isolado das cultivares, observou-se que, a cultivar MGS Paraíso apresentou as maiores médias de IVE (0,076, 0,077 e 0,078 aos 120, 150 e 180 DAS respectivamente), diferindo estatisticamente da cultivar Catuaí Amarelo, para ambos os dias de avaliação após a semeadura, apresentando menores médias ao longo dos dias (Tabela 5).

Tabela 5 – Efeito isolado das cultivares de café arábica sobre o Índice de velocidade de emergência (IVE) aos 120, 150 e 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	IVE		
	120 DAS	150 DAS	180 DAS
MGS Paraíso 2	0,076 a	0,077 a	0,078 a
Catuaí Amarelo IAC 62	0,060 b	0,061 b	0,062 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Esses resultados indicam que o S<sub>3</sub> foi mais propício ao desenvolvimento das plantas, com médias de IVE consistentemente mais altas em comparação com os outros substratos e até

mesmo o substrato padrão (S<sub>1</sub>). Além disso, destaca-se que o S<sub>3</sub> também demonstrou um desempenho notável na promoção da emergência das plantas, reforçando sua eficácia em duas variáveis importantes. Este substrato não apenas favoreceu o desenvolvimento robusto das plantas, mas também se mostrou positivamente influente na velocidade e eficiência da emergência. Assim, os resultados indicam que o S<sub>3</sub> é uma escolha promissora para otimizar tanto o crescimento quanto a fase inicial de emergência das plantas.

No entanto, a presença da cama de *Compost Barn* na formulação do substrato pode ter otimizado as propriedades físicas, proporcionando condições ideais para o desenvolvimento das mudas. Em relação às cultivares, a MGS Paraíso demonstrou maiores médias de IVE em comparação com a Catuaí Amarelo. O desempenho superior da cultivar MGS Paraíso, em termos de IVE, pode indicar melhor adaptação ou condições mais favoráveis para essa cultivar em relação ao substrato ou ambiente em que o experimento foi conduzido.

De acordo com Souza *et al.* (2014), a maior velocidade de emergência de plântulas está diretamente relacionada ao potencial fisiológico das sementes e com o tipo de substrato utilizado no processo de germinação. Assim, o tipo de substrato, desempenha papel crucial na determinação da velocidade com que as plântulas emergem. Com isso, Pereira *et al.* (2012) recomendam substratos orgânicos, pois, estes autores ressaltam que o composto orgânico proporciona desenvolvimento das mudas com mais vigor e resistência.

Houve efeito da interação entre os fatores substratos (S) e cultivares (C) para as variáveis: altura (H), diâmetro do coleto (DC), comprimento radicular (CR) e número de pares de folhas (NPF) aos 180 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo das análises de variância para as variáveis altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), comprimento radicular (CR) e número de pares de folhas (NPF) das mudas de diferentes cultivares de café em função dos substratos aos 180 dias após a semeadura (DAS).

FV	GL	Valores do teste F			
		H	DC	CR	NPF
S	4	28,689*	5,603*	25,0878*	10,991*
C	1	41,308*	0,026 <sup>ns</sup>	3,805 <sup>ns</sup>	0,609 <sup>ns</sup>
S x C	4	2,993*	3,914*	3,310*	3,309*
Erro	40				
Total	49				
CV (%)		8,79	13,58	16,05	17,67

Em que, FV: Fonte de Variação, GL: Graus de Liberdade, CV: Coeficiente de Variação, S: Substrato e C: Cultivar. Não significativo (ns), significativo a 5% (\*) pelo teste F.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Na análise da altura da parte aérea, verificou-se que, o S<sub>3</sub> e o S<sub>1</sub> se destacaram para a cultivar MGS Paraíso, apresentando maiores médias, com 5,98 e 5,88 cm, respectivamente, enquanto que as menores médias foram verificadas para o S<sub>2</sub> e S<sub>4</sub>, com 4,74 e 4,76 cm respectivamente. Assim, analisando os substratos para a cultivar Catuaí Amarelo, foi verificado que o S<sub>3</sub> obteve maior média, com 5,94 cm, apresentando diferença estatística em relação aos demais substratos avaliados. Para essa cultivar, as menores médias foram observadas para o S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> com 3,76 e 3,88 cm, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Efeito dos substratos sobre a altura da parte aérea (cm) das mudas de café arábica cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Altura da parte aérea (cm)	
	MGS Paraíso 2	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	5,88 ab	4,86 b
S <sub>2</sub>	4,74 c	4,12 bc
S <sub>3</sub>	5,98 a	5,94 a
S <sub>4</sub>	4,76 c	3,76 c
S <sub>5</sub>	5,12 bc	3,88 c

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Analisando o efeito das cultivares dentro de cada nível de substrato, para o parâmetro altura, observou-se que para as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, apenas o S<sub>3</sub> não diferiu entre si na análise estatística. Sendo notável que a cultivar MGS Paraíso apresentou médias superiores em comparação com a Catuaí Amarelo (Figura 8).

Tabela 8 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a altura da parte aérea (cm) das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Altura da parte aérea (cm)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso 2	5,88 a	4,74 a	5,98 a	4,76 a	5,12 a
Catuaí Amarelo IAC 62	4,86 b	4,12 b	5,94 a	3,76 b	3,88 b

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

A partir da análise, destaca-se que o substrato S<sub>3</sub> proporcionou maior crescimento para a cultivar MGS Paraíso, em comparação com os demais substratos. Dessa forma, os substratos formulados com a cama de *Compost Barn*, apresentaram médias que não diferiram estatisticamente em relação ao substrato padrão (S<sub>1</sub>), sendo assim, percebe-se efeito positivo do composto orgânico para incremento de altura da parte aérea das mudas de café arábica.

Além disso, ao observar a diferença entre as cultivares, nota-se uma superioridade consistente da MGS Paraíso. A MGS Paraíso manteve altura média superior em comparação à cultivar Catuaí Amarelo. Essa consistência fortalece a evidência de que a MGS Paraíso demonstrou ser mais eficaz na promoção do crescimento em altura das mudas, nas condições e situações estudadas.

Siqueira *et al.* (2023), em seu estudo com a produção de mudas de cultivares de café arábica em diferentes substratos com cama de *Compost Barn*, obtiveram uma altura de 5,6 cm para cultivar MGS Paraíso, no tratamento composto por 30% cama de *Compost Barn* + 70% Solo aos 180 DAS. Esse achado é semelhante aos resultados observados na presente pesquisa.

Em estudo conduzido por Moreira *et al.* (2018), avaliando fertilizante organomineral para o crescimento de mudas e plantas jovens de café arábica (Catuaí Vermelho IAC 51), os resultados indicaram uma altura de 6,0 cm para o tratamento organomineral 40% e 4,3 cm para o tratamento sem adubação aos 180 DAS. Dessa forma, as maiores médias da presente pesquisa assemelharam-se ao tratamento organomineral 40%, enquanto o tratamento sem adubação apresentou uma resposta inferior.

É importante ressaltar que, ao contrário do estudo mencionado, o trabalho atual não recebeu adubação convencional, em vez disso, utilizou apenas composto orgânico proveniente da cama de *Compost Barn*. Essa diferença, nas práticas de adubação, pode influenciar significativamente os resultados observados e destaca a importância do composto orgânico como fonte promissora de nutrientes para o crescimento das mudas de café arábica.

Na avaliação da variável diâmetro do coleto, constatou-se que, o S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> se destacaram para a cultivar MGS Paraíso, com maiores médias avaliadas apresentando 2,74 e 2,70 mm, respectivamente, não havendo diferença estatística entre os substratos avaliados. Enquanto que, analisando as médias para a cultivar Catuaí Amarelo, observou-se que o S<sub>3</sub> e S<sub>1</sub> apresentaram as maiores médias, com 3,02 e 2,92 mm, respectivamente, e a menor média observada foi no S<sub>4</sub>, com 1,90 mm (Tabela 9).

Tabela 9 - Efeito dos substratos sobre o diâmetro do coleto (mm) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Diâmetro do coleto (mm)	
	MGS Paraíso 2	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	2,74 a	2,92 ab
S <sub>2</sub>	2,56 a	2,36 bc
S <sub>3</sub>	2,70 a	3,02 a
S <sub>4</sub>	2,60 a	1,90 c
S <sub>5</sub>	2,32 a	2,64 ab

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Analisando o efeito das cultivares dentro de cada nível de substrato para a variável diâmetro do coleto, foi possível verificar que, entre as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, apenas o S<sub>4</sub> diferiu significativamente (Tabela 10). A similaridade nas médias indica que, nestes substratos, as cultivares podem ter resposta similar em relação ao desenvolvimento do diâmetro do coleto.

Tabela 10 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o diâmetro do coleto (mm) das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Diâmetro do coleto (mm)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso 2	2,74 a	2,56 a	2,70 a	2,60 a	2,32 a
Catuaí Amarelo IAC 62	2,92 a	2,36 a	3,02 a	1,90 b	2,64 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em termos gerais, observou-se que o substrato S<sub>3</sub> foi mais eficaz na promoção do desenvolvimento do diâmetro do colo das mudas de café arábica, especialmente para a cultivar Catuaí Amarelo. Esses achados têm relevância direta para o produtor, indicando que a escolha estratégica do substrato pode impactar positivamente o desenvolvimento das mudas. Além disso, o S<sub>3</sub> formulado com a cama de *Compost Barn*, mostrou comparável ao substrato padrão (S<sub>1</sub>) em termos estatísticos para cultivar Catuaí. Isso indica que os produtores podem considerar

esse substrato como alternativa viável, proporcionando resultados similares ao substrato convencional.

Essa constatação ressalta o potencial eficaz do uso de compostos orgânicos, como a cama de *Compost Barn*, na produção de mudas. Ao implementar essas práticas, os produtores podem otimizar o cultivo de mudas, beneficiando-se não apenas do aspecto agrônômico, mas também considerando a eficiência de custos e a sustentabilidade ambiental associada ao uso de compostos orgânicos.

Os resultados do estudo conduzido por Souza *et al.* (2017), avaliando a produção de mudas de café arábica (Catuaí Vermelho IAC 99) em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples, indicaram que a formulação do substrato (S1: 70% terra de barranco + 30% de esterco bovino), com três doses de superfosfato simples, alcançou a maior média para o diâmetro do coleto, registrando 2,49 mm. É relevante notar que a maior média obtida na presente pesquisa para o diâmetro foi superior. Essa discrepância indica que a composição do substrato utilizado na presente pesquisa, assim como as condições experimentais particulares, pode ter influenciado positivamente o desenvolvimento do diâmetro do coleto, das mudas de café arábica em comparação com o estudo anterior.

De acordo com Coutinho *et al.* (2006), a formulação de substratos alternativos a partir de compostos orgânicos, revela-se como opção atrativa para a produção de mudas de café arábica, considerando que estes materiais são ricos em nutrientes e bons condicionadores de solo, podendo ser usados na implantação de povoamentos florestais e cultivos agrícolas.

Destaca-se ainda que, a altura e o diâmetro do coleto são os parâmetros morfológicos mais utilizados para avaliação da qualidade de mudas, os quais estão intimamente relacionados com a sobrevivência após plantio devido ao vigor que possuem (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Para a análise do comprimento radicular, verificou-se que, para a cultivar MGS Paraíso, o S<sub>3</sub>, S<sub>1</sub> e S<sub>5</sub> destacaram-se com as maiores médias nessa avaliação com 18,46, 17,48 e 15,04 cm respectivamente, e a menor média foi observada no S<sub>2</sub> (11,06 cm). Enquanto que, analisando os substratos para a cultivar Catuaí Amarelo, observou-se que as maiores médias foram verificadas no S<sub>3</sub> e S<sub>1</sub> (19,68 e 17,16 cm respectivamente), já a menor média para essa cultivar foi verificada no S<sub>4</sub>, apresentando comprimento radicular de 8,06 cm (Tabela 11).

Tabela 11 - Efeito dos substratos sobre o comprimento radicular (cm) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Comprimento radicular (cm)	
	MGS Paraíso 2	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	17,48 ab	17,16 ab
S <sub>2</sub>	11,06 c	10,58 cd
S <sub>3</sub>	18,46 a	19,68 a
S <sub>4</sub>	13,92 bc	8,06 d
S <sub>5</sub>	15,04 abc	14,04 bc

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em relação ao desdobramento da cultivar para cada nível de substrato, foi constatado que, ao analisar as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, apenas o S<sub>4</sub> apresentou diferenças estatisticamente significativas (Tabela 12).

Tabela 12 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o comprimento radicular (cm) das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Comprimento radicular (cm)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	17,48 a	11,06 a	18,46 a	13,92 a	14,04 a
Catuaí Amarelo IAC 62	17,16 a	10,58 a	19,68 a	8,06 b	15,04 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em geral, o S<sub>3</sub> promoveu as maiores médias para o comprimento radicular, tanto para cultivar MGS Paraíso, quanto para Catuaí Amarelo, mostrando que o substrato formulado com cama de *Compost Barn* pode ser alternativa viável, visto que, as médias não apresentaram diferenças na análise estatística, para o substrato padrão (S<sub>1</sub>). É relevante ressaltar que o S<sub>3</sub> não apenas se destacou no comprimento radicular, mas também mostrou bons resultados nas variáveis anteriores.

Quando os substratos apresentam quantidades adequadas e equilibradas de nutrientes, eles favorecem o desenvolvimento mais robusto das raízes e maior capacidade de retenção de água. Esse cenário propicia uma translocação mais eficiente de assimilados para as raízes,

resultando em aumento significativo no crescimento das plantas (CRUZ *et al.*, 2016). Essa relação direta entre a qualidade do substrato, a disponibilidade de nutrientes e a translocação eficaz de assimilados destacam a importância de escolher e manejar adequadamente os substratos no cultivo de plantas.

Portanto, a utilização de substratos ricos em matéria orgânica na produção de mudas oferece diversas vantagens, contribuindo para melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do substrato (BARROS *et al.*, 2020).

Os resultados obtidos por Ferreira *et al.* (2020), em trabalho com produção de mudas de café arábica em diferentes substratos orgânicos, com a cultivar Catuaí vermelho IAC 44, obtiveram comprimento radicular de 19,90 cm na formulação do substrato com composto orgânico + areia + solo (CO), enquanto o húmus de minhoca + areia + solo (HM) apresentou 16,0 cm e o substrato comercial (SC) apresentou 15,38 cm. Assim, o S<sub>3</sub> foi semelhante ao CO, já os demais substratos apresentaram resposta inferior ao S<sub>3</sub>. Ambos os estudos indicam que os substratos orgânicos proporcionaram melhores respostas em termos de comprimento radicular, em comparação com o substrato comercial/padrão.

Na análise do número de pares de folhas, verificou-se que para cultivar MGS Paraíso, o S<sub>1</sub> promoveu a maior média (2,9), não diferindo do S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub>, e a menor média foi observada no S<sub>2</sub> (1,76). Enquanto que, analisando os substratos dentro da cultivar Catuaí Amarelo, foi possível verificar que a maior média foi registrada no S<sub>3</sub> (3,0), não havendo diferença estatística entre o S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>5</sub>, apresentando diferença estatística apenas para o S<sub>4</sub> (1,6), sendo este o que apresentou menor média (Tabela 13).

Tabela 13 - Efeito dos substratos sobre o número de pares de folhas das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Número de pares de folhas	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	2,9 a	2,7 a
S <sub>2</sub>	1,7 c	2,3 ab
S <sub>3</sub>	2,6 a	3,0 a
S <sub>4</sub>	2,2 ab	1,6 b
S <sub>5</sub>	2,5 ab	2,9 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa

Analisando o efeito das cultivares dentro de cada nível de substrato para a variável número de pares de folhas, foi possível verificar que entre as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, apresentaram diferença apenas dentro do S<sub>4</sub> (Tabela 14). Em geral, as cultivares não demonstraram variação substancial entre os substratos.

Tabela 14 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o número de pares de folhas das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Número de pares de folhas				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	2,9 a	1,7 a	2,6 a	2,2 a	2,5 a
Catuaí Amarelo IAC 62	2,7 a	2,3 a	3,0 a	1,6 b	2,9 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em relação ao efeito dos substratos, o tratamento composto pelo S<sub>3</sub> e a cultivar Catuaí Amarelo produziu a maior média de número de pares de folhas das mudas do café arábica aos 180 DAS. Dessa forma, o S<sub>3</sub> pode oferecer condições semelhantes ao substrato padrão em termos de retenção de água, e disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento foliar.

Os resultados de Medeiros *et al.*(2008), foram semelhantes aos obtidos na presente pesquisa, pois os autores constataram que o composto orgânico proporcionou maior número de folhas, superando os demais substratos. Estes resultados também foram semelhantes aos de Barros Júnior (2001), que constatou superioridade dos substratos orgânicos em relação ao comercial, para a variável número de folhas.

Esses achados sugerem que a utilização de composto orgânico na formulação do substrato pode ser uma prática vantajosa para promover o desenvolvimento foliar das mudas de café arábica. A presença de nutrientes no composto orgânico pode contribuir para um ambiente de cultivo propício ao crescimento foliar saudável.

Foi identificado efeito significativo da interação entre os fatores Substratos e Cultivares para as variáveis de massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz no período de 180 dias após a semeadura (DAS). Isso indica que a combinação de substratos e cultivares proporcionaram impacto conjunto significativo nessas

variáveis. Além disso, foi observado efeito isolado dos substratos para a variável índice de qualidade de Dickson (Tabela 15).

Tabela 15 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis massa fresca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

FV	GL	Valores do teste F				
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	IQD
S	4	96,249*	21,498*	67,342*	10,931*	17,525*
C	1	0,193 <sup>ns</sup>	0,024 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	1,065 <sup>ns</sup>	0,649 <sup>ns</sup>
S x C	4	25,147*	18,517*	9,539*	2,988*	1,323 <sup>ns</sup>
Erro	40					
Total	49					
CV (%)		22,38	22,70	39,37	43,71	49,07

Em que, FV: Fonte de Variação, GL: Graus de Liberdade, CV: Coeficiente de Variação, S: Substrato e C: Cultivar. Não significativo (ns), significativo a 5% (\*) pelo teste F.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao analisar a variável massa fresca da parte aérea, constatou-se que, para a cultivar MGS Paraíso, o S<sub>1</sub> apresentou média mais elevada (2,3297 g), seguido pelo S<sub>3</sub>, que registrou 0,9298 g. Em contraste, ao analisar os substratos dentro da cultivar Catuaí Amarelo, observou-se que a maior média foi alcançada no substrato S<sub>3</sub> (2,0311 g), seguido pelo S<sub>1</sub>, que registrou 1,5218 g conforme detalhado na Tabela 16. Esses resultados indicam variações significativas na massa fresca da parte aérea em resposta à combinação específica de cultivares e substratos.

Tabela 16 - Efeito dos substratos sobre a massa fresca da parte aérea (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Massa fresca da parte aérea (g)	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	2,3297 a	1,5218 b
S <sub>2</sub>	0,4667 c	0,4017 c
S <sub>3</sub>	0,9298 b	2,0311 a
S <sub>4</sub>	0,6056 bc	0,4488 c
S <sub>5</sub>	0,6336 bc	0,4258 c

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao verificar o efeito das cultivares dentro de cada nível de substrato, observou-se que, entre as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, diferenças estatísticas significativas foram encontradas apenas no S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> (Tabela 17). Essa análise destaca a importância de considerar as interações específicas entre cultivares e substratos para compreender as diferenças nas respostas observadas.

Tabela 17 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa fresca da parte aérea das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Massa fresca da parte aérea (g)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	2,3297 a	0,4667 a	0,9298 b	0,6056 a	0,6336 a
Catuaí Amarelo IAC 62	1,5218 b	0,4017 a	2,0311 a	0,4488 a	0,4258 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

A análise das informações mostra que, para a cultivar MGS Paraíso, o tratamento composto pela combinação da cultivar com o S<sub>1</sub>, resultou em maior média de produção de massa fresca da parte aérea das mudas de café arábica aos 180 DAS. Por outro lado, para a cultivar Catuaí Amarelo, o tratamento com o substrato S<sub>3</sub> apresentou maior média, indicando resposta semelhante ao substrato padrão (S<sub>1</sub>).

Esses resultados sugerem que o substrato S<sub>3</sub> pode ser uma alternativa viável e eficaz ao substrato padrão, destacando a sua capacidade de fornecer resultados comparáveis. A utilização de substratos compostos por cama de *Compost Barn* pode representar uma opção promissora na produção de mudas, proporcionando alternativa sustentável e eficiente, especialmente para cultivar Catuaí Amarelo.

Em comparação com os resultados dos tratamentos mais eficazes da presente pesquisa, estes demonstraram desempenho superiores aos obtidos por Souza *et al.* (2017). No estudo os pesquisadores abordaram a produção de mudas de café arábica, explorando combinações de substratos e doses de superfosfato simples, utilizando a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Nesse contexto, constatou-se que a massa fresca da parte aérea atingiu média de 2,21 g na formulação do substrato S<sub>1</sub> (composto por 70% de terra de barranco e 30% de esterco bovino) e 2,02 g na formulação do substrato S<sub>4</sub> (constituído por 85% de terra de barranco, 10% de esterco bovino

e 5% de palha de café), ambos empregando três doses distintas de superfosfato simples (1, 3 e 5 kg m<sup>-3</sup> de substrato).

Ao verificar a variável de massa fresca da raiz, destaca-se que o S<sub>1</sub> evidenciou uma média mais elevada (0,8705 g) para a cultivar MGS Paraíso 2. Por outro lado, ao avaliar as médias da cultivar Catuaí Amarelo, observou-se que o S<sub>3</sub> apresentou média mais alta (0,8805 g) (Tabela 18). Esses resultados indicam variações na resposta das cultivares em relação à massa fresca da raiz em diferentes substratos.

Tabela 18 - Efeito dos substratos sobre a massa fresca da raiz (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Massa fresca da raiz (g)	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	0,8705 a	0,6231 b
S <sub>2</sub>	0,3208 c	0,3551 c
S <sub>3</sub>	0,3551 c	0,8805 a
S <sub>4</sub>	0,4158 c	0,3175 c
S <sub>5</sub>	0,6279 b	0,3881 c

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao verificar o efeito das cultivares dentro de cada nível de substrato, destacam-se diferenças estatísticas significativas entre as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo apenas no S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> (Tabela 19).

Tabela 19 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa fresca da raiz das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Massa fresca da raiz (g)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	0,8705 a	0,3208 a	0,3551 b	0,4158 a	0,6279 a
Catuaí Amarelo IAC 62	0,6231 b	0,3551 a	0,8805 a	0,3175 a	0,3881 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Diante das informações, percebe-se que o tratamento composto por a cultivar MGS Paraíso e o S<sub>1</sub> proporcionou maior média de produção de massa fresca da raiz das mudas de café arábica aos 180 DAS. Já para a cultivar Catuaí Amarelo o S<sub>3</sub> apresentou maior média, mostrando resposta semelhante ao substrato padrão (S<sub>1</sub>).

Os resultados das maiores médias da presente pesquisa revelaram valores superiores aos observados por Souza *et al.* (2017). Os pesquisadores focalizaram a produção de mudas de café arábica, explorando combinações de substratos e doses de superfosfato simples, utilizando a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, e constataram maior média na formulação do substrato S<sub>1</sub> (composto por 70% de terra de barranco e 30% de esterco bovino), resultando em uma média de 0,67 g para a massa fresca da raiz, considerando três doses distintas de superfosfato simples. Assim, os resultados da presente pesquisa indicam uma melhoria nos valores de massa fresca da raiz em comparação com o este estudo.

A composição do substrato é de essencial importância para a fase inicial das plantas durante o enraizamento e para suprir as necessidades nutricionais das mudas. Além disso, o substrato deve apresentar porosidade, drenagem e capacidade de retenção de líquidos adequada para as plantas, o que é favorecida pela proporção de matéria orgânica (ZIETEMANN; ROBERTO, 2007).

Na avaliação da massa seca da parte aérea, destaca-se que, para a cultivar MGS Paraíso, o S<sub>1</sub> demonstrou a média mais elevada (1,2088 g). Entretanto, ao analisar as médias referentes à cultivar Catuaí Amarelo, observa-se que o S<sub>3</sub> se destacou para essa cultivar apresentando média de 1,0163 g, conforme evidenciado na Tabela 20.

Tabela 20 - Efeito dos substratos sobre a massa seca da parte aérea das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Massa seca da parte aérea (g)	
	MGS Paraíso 2	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	1,2088 a	0,8298 a
S <sub>2</sub>	0,1707 c	0,0882 b
S <sub>3</sub>	0,4933 b	1,0163 a
S <sub>4</sub>	0,1332 c	0,1108 b
S <sub>5</sub>	0,1093 c	0,0789 b

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao avaliar o desempenho das cultivares em cada nível de substrato, verifica-se que entre as cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo, apenas S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> exibiram diferenças estatísticas na Tabela 21.

Tabela 21 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa seca da parte aérea das mudas produzidas nos S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Massa seca da parte aérea (g)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	1,2088 a	0,1707 a	0,4933 b	0,1332 a	0,1093 a
Catuaí Amarelo IAC 62	0,8298 b	0,0882 a	1,0163 a	0,1108 a	0,0789 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Similarmente ao parâmetro de massa fresca da parte aérea, observa-se que o tratamento que envolve a cultivar MGS Paraíso associada ao substrato S<sub>1</sub> resultou em média superior de produção de massa seca da parte aérea das mudas de café arábica aos 180 DAS. No caso da cultivar Catuaí Amarelo, o S<sub>3</sub> apresentou uma média superior, indicando uma resposta comparável ao substrato padrão da cultivar MGS.

Em relação a outras pesquisas, os dados foram semelhantes aos verificados por Souza *et al.* (2017). Os autores, trabalhando com produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples, verificaram 1,43 g de massa seca da parte aérea, na formulação do substrato (S<sub>1</sub>: 70% terra de barranco e 30% de esterco bovino) e 1,13 g na formulação do substrato (S<sub>4</sub>: 85% de terra de barranco, 10% de esterco bovino e 5% palha de café) ambos em três doses de superfosfato simples.

Ao avaliar a massa seca da raiz, para a cultivar MGS Paraíso, destaca-se que o S<sub>1</sub> apresentou média mais elevada (0,2231 g), não havendo diferença estatística entre o S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub>. No entanto, ao analisar as médias referentes à cultivar Catuaí Amarelo, observa-se que o S<sub>3</sub> se destacou para essa cultivar, apresentando maior média (0,2937 g), diferindo dos demais substratos avaliados, conforme evidenciado na Tabela 22.

Tabela 22 - Efeito dos substratos sobre a massa seca da raiz (g) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Massa seca da raiz (g)	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	0,2231 a	0,1697 b
S <sub>2</sub>	0,0799 b	0,0702 b
S <sub>3</sub>	0,1941 ab	0,2937 a
S <sub>4</sub>	0,1430 ab	0,0513 b
S <sub>5</sub>	0,1694 ab	0,1273 b

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Ao avaliar a resposta das cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo em cada nível de substrato, destaca-se que apenas dentro do S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub> apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Tabela 23). Esses resultados indicam que as variações nas médias entre as cultivares foram estatisticamente significativas nos mencionados substratos.

Tabela 23 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a massa seca da raiz (g) das mudas produzidas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Massa seca da raiz (g)				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	0,2231 a	0,0799 a	0,1941 b	0,1430 a	0,1694 a
Catuaí Amarelo IAC 62	0,1697 a	0,0702 a	0,2937 a	0,0513 b	0,1273 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

De maneira análoga aos demais parâmetros, constata-se que em relação ao efeito dos substratos sobre a massa seca da raiz, o tratamento que envolve a cultivar MGS Paraíso em conjunto com o S<sub>1</sub>, proporcionou uma média superior na produção de massa seca da raiz das mudas de café arábica. Para a cultivar Catuaí Amarelo, o S<sub>3</sub> que apresentou maior média.

No entanto, em relação à massa fresca e seca da parte aérea e da raiz, foi possível identificar que a cultivar MGS Paraíso demonstrou uma melhor resposta quando cultivada no S<sub>1</sub>, enquanto a cultivar Catuaí Amarelo demonstrou uma resposta mais favorável no S<sub>3</sub>. Isso enfatiza a complexidade da interação entre as características das cultivares e as propriedades dos substratos na determinação do desenvolvimento da massa das plantas.

Com isso, pode-se verificar que os maiores valores de massa seca da raiz encontrados na presente pesquisa, assemelharam-se aos resultados obtidos por Meneghelli *et al.* (2017), os autores, trabalhando com substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica utilizando o resíduo proveniente da secagem dos grãos de café, denominado como “moinha”, em substituição ao esterco bovino, com a cultivar Catuaí Vermelho IAC- 99, verificaram que a proporção de 19,22% de moinha proporcionou o maior valor de massa seca de raiz (0,28423 g).

No entanto, raízes com desenvolvimento adequado possuem maior capacidade de lidar com as variações ambientais. Isso se deve ao fato de que um sistema radicular bem desenvolvido permite uma área de contato mais ampla com o solo, o que, por sua vez, é respaldado pelo aumento na massa seca da raiz (COSTA *et al.* 2013). Segundo Luz *et al.* (2004), o peso da massa seca de raiz permite inferir qual substrato fornece maior quantidade de nutrientes.

A variável Índice de Qualidade de Dickson das mudas de café arábica aos 180 DAS sofreu efeito significativo apenas para o fator substrato. Dessa forma, constatou-se que o S<sub>1</sub> proporcionou maior média nessa avaliação (5,326), seguido do S<sub>3</sub> (3,542), enquanto, o menor quantitativo médio foi obtido no S<sub>5</sub> (0,996) (Tabela 24).

Tabela 24 – Efeito isolado dos substratos sobre o Índice de Qualidade de Dickson das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Índice de Qualidade de Dickson
S <sub>1</sub>	5,326 a
S <sub>2</sub>	1,837 c
S <sub>3</sub>	3,542 b
S <sub>4</sub>	1,732 c
S <sub>5</sub>	0,996 c

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Os resultados apresentados mostraram-se superiores aos verificados por Pereira *et al.* (2017), que em seu estudo sobre a produção de mudas de cafeeiro utilizando substratos orgânicos, empregaram quatro fontes de matéria orgânica em diferentes proporções no substrato comercial Bioplant®, em que a avaliação por meio do IQD apresentou superioridade no esterco de coelho, atingindo um IQD máximo de 1,31 quando aplicado na dose calculada de 32,9%.

Em contrapartida, os IQDs máximos para a cama de frango, esterco bovino e esterco de suíno foram de 0,90, 0,88 e 0,87, respectivamente, alcançados em doses de 25%, 17,4% e 5,2% dos tratamentos no substrato.

É relevante ressaltar que todos os tipos de matéria orgânica empregados resultaram em mudas consideradas de alta qualidade, uma vez que apresentaram IQD superiores a 0,20, sendo esse o valor mínimo recomendado para mudas de café, conforme estabelecido por Marana *et al.* (2008).

O IQD é reconhecido como um indicador crucial na avaliação das mudas, uma vez que leva em consideração as características biométricas da planta (SILVA *et al.*, 2021). Esse indicador não apenas reflete uma maior taxa de sobrevivência das mudas no campo, mas também está associado a uma maior produtividade (SANTOS *et al.*, 2017).

A análise de variância revelou efeito estatisticamente significativo da interação entre os fatores Substratos e Cultivares nas variáveis de índice de clorofila e área foliar, durante o período de 180 dias após a semeadura (DAS). Essa observação indica que a combinação específica de substratos e cultivares exerceu um impacto conjunto estatisticamente significativo nessas variáveis, sugerindo que a resposta das plantas em relação a essas características foi influenciada pela interação sinérgica entre o tipo de substrato e a cultivar utilizada. Adicionalmente, foi identificado efeito isolado dos substratos na variável razão de peso foliar, e razão de área foliar, evidenciando que, independentemente da cultivar empregada, as características relacionadas à razão de peso foliar, e razão de área foliar, foram significativamente afetadas apenas pelo tipo de substrato (Tabela 25).

Tabela 25 - Resumo das análises de variâncias para as variáveis índice de clorofila (IC), área foliar total (AFT), razão de peso foliar (RPF), razão de área foliar (RAF) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

FV	GL	Valores do teste F			
		IC	AF	RPF	RAF
S	4	18,954*	77,252*	12,306*	4,591*
C	1	0,120 <sup>ns</sup>	1,074 <sup>ns</sup>	0,025 <sup>ns</sup>	0,649 <sup>ns</sup>
S x C	4	3,658*	6,417*	0,420 <sup>ns</sup>	1,323 <sup>ns</sup>
Erro	40				
Total	49				
CV (%)		23,07	23,56	22,67	51,81

Em que, FV: Fonte de Variação, GL: Graus de Liberdade, CV: Coeficiente de Variação, S: Substrato e C: Cultivar. Não significativo (ns), significativo a 5% (\*) pelo teste F.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Na avaliação da variável índice de clorofila, para a cultivar MGS Paraíso, destaca-se que o S<sub>1</sub> evidenciou uma média mais elevada (32,7), entretanto, não se observou diferença estatisticamente significativa em relação ao S<sub>4</sub>, cuja média foi 25,2. Da mesma forma, ao analisar as médias da cultivar Catuaí Amarelo, notou-se que o S<sub>1</sub> apresentou a média mais alta, com valor de 31,2, porém, não havendo diferença significativa para o S<sub>3</sub> com média de 26,8, conforme detalhado na Tabela 26.

Tabela 26 - Efeito dos substratos sobre o índice de clorofila das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Índice de clorofila	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	32,7 a	31,2 a
S <sub>2</sub>	12,5 c	14,8 b
S <sub>3</sub>	18,9 bc	26,8 a
S <sub>4</sub>	25,2 ab	17,0 b
S <sub>5</sub>	19,2 bc	16,4 b

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao analisar a resposta das cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo em cada nível de substrato, destaca-se que apenas dentro do S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub> revelaram diferenças estatisticamente significativas. Esses resultados indicam que as variações nas médias entre as cultivares foram estatisticamente diferentes nos referidos substratos (Tabela 27).

Tabela 27 - Efeito das cultivares de café arábica sobre o Índice de clorofila das mudas produzidas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Índice de clorofila				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	32,7 a	12,5 a	18,9 b	25,2 a	19,2 a
Catuaí Amarelo IAC 62	31,2 a	14,8 a	26,8 a	17,0 b	16,3 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Os resultados indicam que, estatisticamente, as médias dos tratamentos S<sub>4</sub> na cultivar MGS Paraíso, e S<sub>3</sub> na cultivar Catuaí Amarelo foram considerados semelhantes, ao substrato padrão (S<sub>1</sub>), indicando que, em termos de resposta, os substratos formulados com cama de *Compost Barn* (S<sub>3</sub> e S<sub>4</sub>) não diferem de maneira significativa do substrato padrão. Para o produtor, isso pode representar uma vantagem, pois os substratos, formulados com a cama de *Compost Barn*, mostraram-se tão eficientes quanto o substrato padrão no favorecimento do índice de clorofila nas plantas.

A quantificação do índice de clorofila nos tecidos fotossintetizantes permite entender melhor a resposta fotossintética das plantas, além de auxiliar na determinação de sua capacidade de adaptação às condições ambientais específicas. No cultivo do café arábica, tanto efeitos genéticos quanto ambientais participam da determinação do teor foliar de clorofilas nos tecidos foliares, sendo possível verificar modificações devido às condições do manejo nutricional, fitossanitário e de copas, ao microclima, à face de exposição, a idade, ao estado de demanda fisiológica, entre outros fatores (ENCALADA-CÓRDOVA *et al.*, 2016; TAIZ *et al.*, 2017; ABRANCHES *et al.*, 2019; COLODETTI *et al.*, 2020).

Na avaliação da área foliar, para a cultivar MGS Paraíso, destaca-se que o S<sub>1</sub> apresentou maior média de 45,86 cm<sup>2</sup>. Da mesma forma, ao analisar as médias da cultivar Catuaí Amarelo, notou-se que o S<sub>1</sub> apresentou média mais alta, com valor de 34,90 cm<sup>2</sup> não revelando diferença significativa para o S<sub>3</sub>, apresentando média de 28,30 cm<sup>2</sup> conforme detalhado na Tabela 28.

Tabela 28 - Efeito dos substratos sobre a área foliar (cm<sup>2</sup>) das mudas de café arábica nas cultivares MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62 aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	
	MGS Paraíso	Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	45,86 a	34,90 a
S <sub>2</sub>	9,22 c	9,98 b
S <sub>3</sub>	19,14 b	28,30 a
S <sub>4</sub>	15,96 bc	11,12 b
S <sub>5</sub>	11,36 bc	10,46 b

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao avaliar a resposta das cultivares MGS Paraíso e Catuaí Amarelo em cada nível de substrato, é notável que apenas o S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> exibiram diferenças estatisticamente significativas (Tabela 29).

Tabela 29 - Efeito das cultivares de café arábica sobre a área foliar total das mudas produzidas S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Cultivar	Área foliar (cm <sup>2</sup> )				
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
MGS Paraíso	45,86 a	9,220 a	19,14 b	15,96 a	11,36 a
Catuaí Amarelo IAC 62	34,90 b	9,980 a	28,30 a	11,12 a	10,46 a

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Os resultados apresentados mostram que o tratamento S<sub>3</sub>, não apresentou diferença estatística em comparação com o substrato padrão na cultivar Catuaí, indicando que ambos substratos podem ser eficazes no desenvolvimento da área foliar das plantas. Assim, considerando a equivalência estatística entre o S<sub>3</sub> e o substrato padrão (S<sub>1</sub>), o produtor pode avaliar a possibilidade de utilizar o substrato formulado com o composto orgânico, reduzindo custos de produção sem comprometer o desenvolvimento da área foliar das plantas.

Trabalho realizado por Dias *et al.* (2009), com a cultivar Acaíá Cerrado, empregando diferentes fontes e proporções de material orgânico para a produção de mudas de café, utilizando fertilizante comercial de liberação gradual Osmocote®, verificou que, a proporção 60% do seu estudo, obteve média da área foliar de 29,3 cm<sup>2</sup> na fonte do material orgânico esterco bovino, e 19,4 cm<sup>2</sup> na cama de peru. Comparando esses resultados com os substratos de maior relevância da presente pesquisa, nota-se que a média da área foliar, formulada pelo esterco bovino assemelhou-se ao tratamento S<sub>3</sub> na cultivar Catuaí. Por outro lado, o desempenho apresentado pela cama de peru foi comparável ao tratamento S<sub>3</sub> na cultivar MGS.

No entanto, vale destacar a importância da análise da área foliar de uma cultura, pois é uma variável de crescimento amplamente reconhecida como um parâmetro indicativo de produtividade. Uma vez que o processo fotossintético acontece a partir da interceptação da energia luminosa pelo dossel, seguida pela sua conversão em energia química, de forma que a superfície foliar é a base do rendimento potencial da cultura (FAVARIN, 2002).

Além de seu papel na estimativa da produtividade, o conhecimento da área foliar é essencial para estudos agronômicos e fisiológicos, abrangendo análises de crescimento e transpiração (FAVARIN *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2011). Também, o estudo da área foliar tem grande utilidade para a avaliação de respostas a técnicas culturais, como poda, adubação, espaçamento, aplicação de defensivos e manejo da irrigação (BLANCO; FOLEGATTI, 2005).

A variável razão de peso foliar (RPF) das mudas de café arábica aos 180 DAS sofreu efeito apenas do fator substrato, dessa forma, observou-se que o S<sub>1</sub> proporcionou maior média nessa avaliação, não diferindo estatisticamente do S<sub>3</sub>, enquanto, o menor quantitativo médio foi obtido no S<sub>5</sub> (Tabela 30).

Tabela 30 – Efeito isolado dos substratos sobre a razão de peso foliar das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Razão de peso foliar
S <sub>1</sub>	0,83 a
S <sub>2</sub>	0,59 bc
S <sub>3</sub>	0,73 ab
S <sub>4</sub>	0,54 c
S <sub>5</sub>	0,43 c

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Isso indica que o S<sub>3</sub>, formulado com fonte de matéria orgânica, demonstrou ser tão eficaz quanto o substrato padrão (S<sub>1</sub>) no que diz respeito à razão de peso foliar (RPF) das mudas de café arábica. Essa equivalência pode indicar ao produtor que o S<sub>3</sub> é uma alternativa viável e econômica ao substrato padrão, oferecendo resultados semelhantes na produção de mudas de café.

Levando-se em consideração que as folhas são o centro de produção de massa seca através da fotossíntese e, que as demais partes da planta dependem da exportação desta fitomassa, a razão de peso foliar expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para o resto da planta (BENINCASA, 2003). Assim, o S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> apresentaram maior capacidade das folhas em contribuir para o acúmulo de massa seca na planta, devido à razão de peso foliar ser mais alta, mostrando desempenho superior na formulação desses substratos em termos da produção de biomassa pelas folhas.

Ao avaliar a variável razão de área foliar nas mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS), observou-se que este parâmetro sofreu efeito apenas do fator substrato. Assim, pode-se verificar que o S<sub>4</sub> apresentou a maior média nesta avaliação, sem diferença estatística em relação ao S<sub>5</sub> e S<sub>2</sub>. Em contraste, o menor valor médio foi registrado no S<sub>3</sub>, conforme detalhado na Tabela 31.

Tabela 31 – Efeito isolado dos substratos sobre a razão de área foliar das mudas de café arábica aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Substratos	Razão de área foliar (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
S <sub>1</sub>	34,49 c
S <sub>2</sub>	51,94 ab
S <sub>3</sub>	25,40 c
S <sub>4</sub>	66,42 a
S <sub>5</sub>	52,01 ab

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

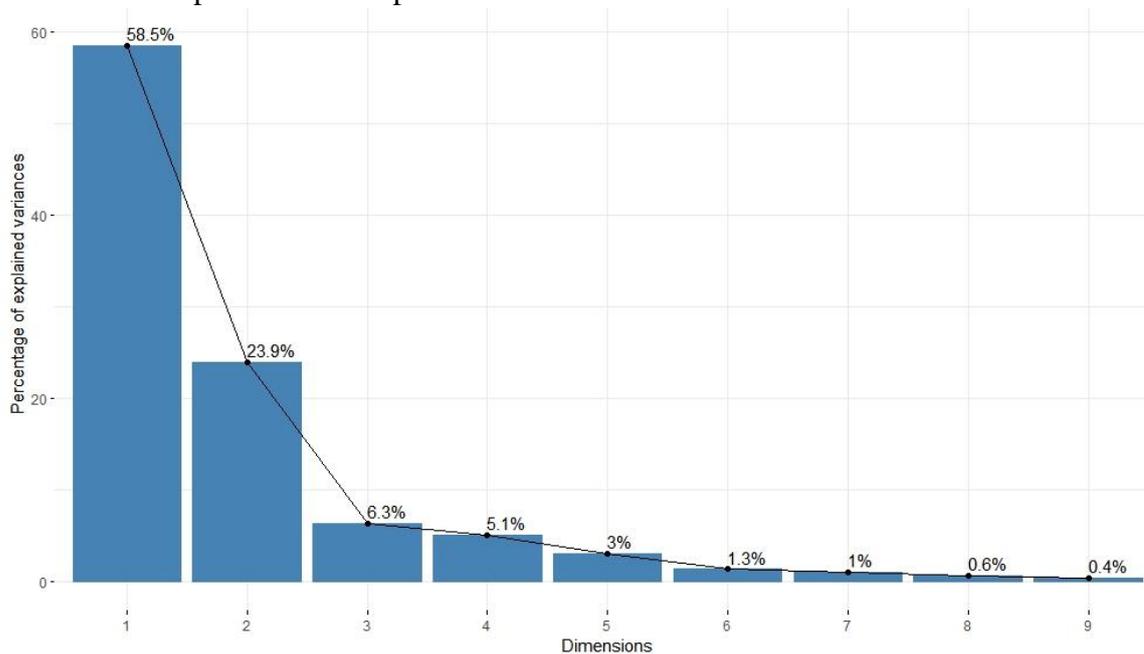
Fonte: Acervo da pesquisa.

A menor média observada no S<sub>3</sub> pode estar associada ao maior número de folhas das mudas produzidas nesse substrato, resultado semelhante também foi constatado por Gonçalves *et al.* (2018). Com o crescimento da planta ocorre diminuição dos valores, devido ao aumento do sombreamento, o que afeta a área foliar útil para a fotossíntese (BENICASA, 2003).

A Razão de Área Foliar representa a quantidade de área foliar que uma planta utiliza para produzir um grama de matéria seca, de modo que, com o crescimento da planta ocorre diminuição dos valores, devido ao aumento do sombreamento, o que afeta a área foliar útil para a fotossíntese (BENICASA, 2003).

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi conduzida utilizando uma matriz de dados composta por 19 variáveis. No que diz respeito à explicação do percentual da variância pelas componentes principais, observa-se que os dois primeiros componentes principais explicam conjuntamente 82,4% da variabilidade original. A primeira componente responde em 58,5% da variância, enquanto a segunda componente 23,9% conforme representado na Figura 4.

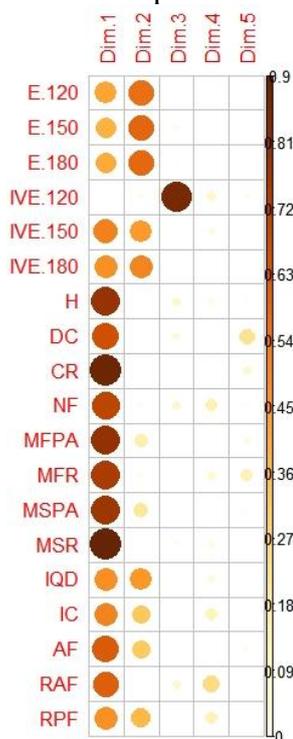
Figura 4 - Percentual de Variância Total explicada por cada um dos nove primeiros Componentes Principais.



Fonte: Acervo da pesquisa.

A maior parte das variáveis avaliadas contribuíram para o primeiro componente principal, refletido pelos maiores valores representados por esferas de tamanho maior e coloração em tons de marrom. Esses atributos permitiram uma caracterização mais precisa das mudas de café arábica, contribuindo para a definição do primeiro componente principal, pois, o aumento nos valores representados por esferas de maior dimensão e coloração em tons de marrom indica a influência substancial desses atributos na análise. Em relação ao segundo e terceiro componentes principais, que desempenharam um papel crucial na análise, foram melhor caracterizados pelas pontuações que corresponderam à análise de emergência aos 120, 150 e 180 DAS, e ao Índice de Velocidade de Emergência aos 120 DAS, respectivamente, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Contribuição das variáveis agronômicas avaliadas para o percentual de Variância Total explicada por cada um dos 5 primeiros Componentes Principais.



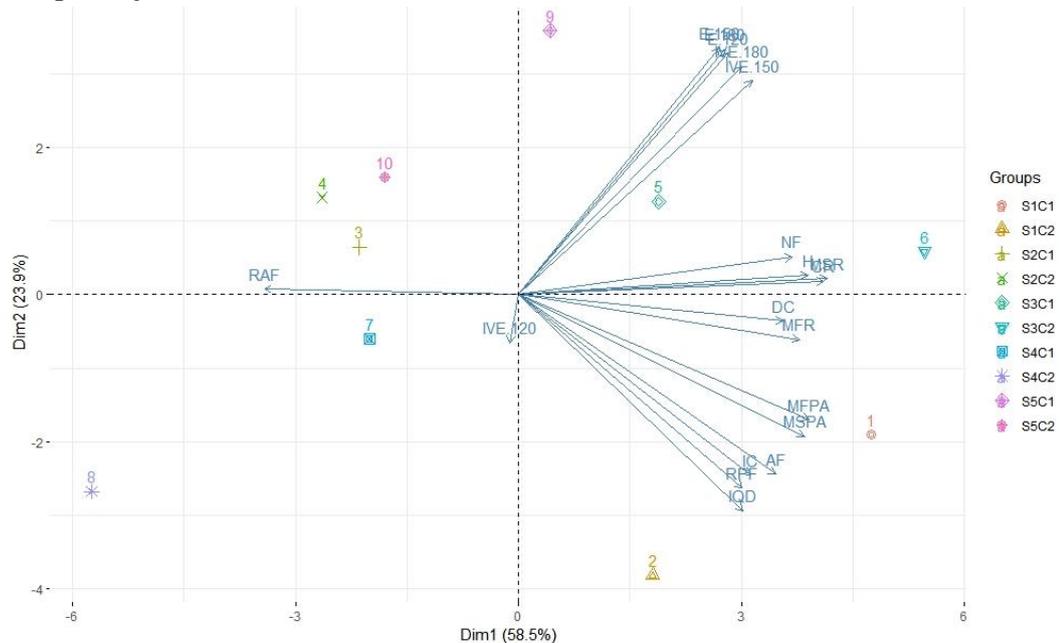
Em que, E.120: emergência aos 120 dias após a semeadura (DAS), E.150: emergência aos 150 DAS, E.180: emergência aos 180 DAS, IVE.120: Índice de Velocidade de Emergência aos 120 DAS, IVE.150: Índice de Velocidade de Emergência aos 150 DAS, IVE.180: Índice de Velocidade de Emergência aos 180 DAS, H: altura da parte aérea aos 180 DAS, DC: diâmetro do coleto aos 180 DAS, CR: comprimento radicular aos 180 DAS, NF número de folhas aos 180 DAS, MFPA: massa fresca da parte aérea, MFR: massa fresca da raiz, MSPA: massa seca da parte aérea, MSR: massa seca da raiz aos 180 DAS, IQD: Índice de Qualidade de Dickson aos 180 DAS, IC: índice de clorofila aos 180 DAS, AF: área foliar aos 180 DAS, RAF: razão área foliar e RPF: razão de peso foliar aos 180 DAS.

Fonte: Acervo da pesquisa.

A análise multivariada dos dados relacionados à interação entre os fatores Substratos e Cultivares, mostrou que os tratamentos formados por o  $S_1$  e  $S_3$  apresentaram correlações com a maioria dos parâmetros analisados, com destaque para o  $S_1$  na cultivar MGS Paraíso ( $S_1+C_1$ ), estando posicionados no quadrante inferior direito, e o  $S_3$  na cultivar Catuaí Amarelo ( $S_3+C_2$ ), posicionados no quadrante superior direito, correspondendo com o agrupamento formado pela maioria dos parâmetros agronômicos avaliados, indicando efeito positivo dos tratamentos para o crescimento das mudas de café arábica. O  $S_1$  foi caracterizado por as variáveis diâmetro do coleto, área foliar, índice de clorofila, índice de qualidade de dickson, massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca da raiz e razão de peso foliar. E o  $S_3$  foi caracterizado por as variáveis, emergência aos 120, 150 e 180 DAS, índice de velocidade de emergência aos 150 e 180 DAS, altura, número de folhas, comprimento de raiz, massa seca da raiz. Em contrapartida os demais

tratamentos que envolvem o S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub> e S<sub>5</sub> tiveram resposta inversa, uma vez que estão nos outros quadrantes (Figura 6).

Figura 6 - *Biplot* dos dois primeiros componentes principais obtidos para a interação entre os fatores Substratos e Cultivar com base nos parâmetros agrônômicos avaliados na produção de mudas de café arábica.



Fonte: Acervo da pesquisa.

O fato dos tratamentos que envolvem o S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> estarem associados ao agrupamento formado pela maioria dos parâmetros agrônômicos avaliados, é um indicativo forte de seu desempenho superior em relação aos demais tratamentos. Mostrando que o S<sub>3</sub> apresentou resposta semelhante ao substrato padrão (S<sub>1</sub>), estando em consonância com as demais análises, com isso destaca-se a capacidade do S<sub>3</sub> de se equiparar com desempenho de um substrato de referência.

Essa observação ganha ainda mais relevância, quando considera-se que esses substratos se destacaram para a maioria dos parâmetros avaliados, fornecendo uma validação adicional à robustez dos resultados, indicando consistência nos achados, aumentando a confiança na escolha desses substratos.

No entanto, a boa qualidade do substrato é resultado da combinação das suas propriedades físico químicas, as quais podem ser ajustadas pela formulação de misturas duplas ou triplas (NEGREIROS *et al.*, 2004). O uso de substratos orgânicos com as características

adequadas a cada espécie pode reduzir o tempo de cultivo, mão de obra e o uso de insumos como fertilizantes químicos e defensivos (FERMINO; KAMPF, 2003).

Em pesquisa conduzida por Rinaldi (2014), com substratos alternativos, a PCA revelou que a soma das duas componentes principais atingiu 44,69%, sendo que o componente 1 (PC1) explicou 28,96% e o componente 2 (PC2) explicou 15,73% da variância dos dados. Demonstrase, desta forma, que a atual pesquisa apresentou maior eficiência na explicação da variância nos dados, pois, a maior parte da complexidade e da variação nos dados foi representada e explicada pelas duas componentes principais.

#### 4 CONCLUSÃO

As mudas de café arábica foram influenciadas pelos diferentes substratos formulados a partir da cama de *Compost Barn*. O uso do substrato padrão S<sub>1</sub>: (30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato simples + cloreto de potássio + calcário dolomítico) e o S<sub>3</sub>: (30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo), proporcionaram os melhores resultados para maioria das variáveis analisadas.

No entanto, vale destacar que, para a massa fresca e seca da parte aérea e da raiz, foi possível identificar que o substrato padrão foi mais favorável para a cultivar MGS Paraíso, enquanto o S<sub>3</sub>: (30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo) demonstrou ser mais adequado para a cultivar Catuaí Amarelo. Essa análise ressalta a importância da escolha adequada de substratos para otimizar o desenvolvimento da planta, indicando a necessidade de mudança na escolha do substrato de acordo com a cultivar.

O S<sub>3</sub>, foi o que mais se aproximou do substrato padrão podendo ser indicado para produção de mudas de café arábica, proporcionando maior desenvolvimento em termos morfológicos e de suas relações. Com isso, encontrar um substrato alternativo comparável ao padrão oferece ao produtor a oportunidade de otimizar custos, adotar práticas mais sustentáveis e melhorar o desempenho geral da produção.

Novos estudos devem ser conduzidos no sentido de otimizar a formulação dos substratos utilizados na produção de mudas de café, em especial o uso do S<sub>3</sub>: (30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo), avaliando ajustes nas proporções e seu impacto nas diferentes cultivares de café arábica.

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de pesquisa, à Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo suporte contínuo ao longo do projeto e aos membros do Laboratório de Construções, Ambiente e Sustentabilidade, assim como ao Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiente em Biosistemas (COAMBI/UFLA).

## REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, J. L.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; PARECIDO, R. J. Arabica coffee response to rates of coated and conventional urea in sandy soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 54, n.1 e00767, 2019.
- ALMEIDA, R. S.; ARAÚJO, M. P.; MOURA, L. B.; PIMENTEL, A. S.; LIMA, K. M. A.; BARBOSA, F. M., GOMES, A. C.; LACERDA, A. V. Emergência e vigor de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos em função de diferentes tempos de imersão em água. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v. 7, n. 15, p. 31-41, 2020.
- ATROCH, E.M.A.C.; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forticata* LINK submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v.25, n.4, p.853-862, 2001.
- BARROS JÚNIOR AP. **Diferentes compostos orgânicos como substrato na produção de mudas de pimentão (*Capsicum annum* L.)**. 2001. 31 f. (Monografia graduação), Mossoró: ESAM, 2001.
- BARROS, C. M. B.; VANOLLI, B. S.; VICENSI, M.; ÁVILA, F. W.; BOTELHO, R. V.; MÜLLER, M. M. L. Substratos orgânicos e pulverização com biofertilizante na produção de mudas de mamoeiro. **Research Society and Development**, São Paulo, v. 9, n. 10, p. e6359109129-e6359109129, 2020.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 41 p, 2003.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricultural**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 305-309, 2005.
- BOTELHO, C.E.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, G.R.; BARTHOLO, G.F.; CARVALHO, S.P. Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de 'Icatu' com 'Catimor'. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.57, n.3, p.274-281, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normas climatológicas (1961- 1990)**. Brasília: 84.p, 1992.

BRIGATTI, A. M. **Compost Barn e a produtividade leiteira**. IEPEC, 2014. Disponível em: <<https://www.terraviva.com.br/selectus/agosto2015/2508cb.pdf/>>. Acesso em: 09 jun. 2022.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; CAVATTE, P. C.; REIS, E. F.; VERDIN FILHO, A. C.; BRINATE, S. V. B.; MARTINS, L. D.; CHRISTO, B. F.; ANDRADE JUNIOR, S.; TOMAZ, M. A. Managing the number of orthotropic stems in *Coffea arabica* as strategy for cultivation at low-altitude regions. **Australian Journal of Crop Science**, Queensland, v. 14, n.3 p. 447-454, 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Terceiro levantamento de safra 2023**. Setembro. 2023. Disponível em:file:///C:/Users/CLIENTE/Documents/TRABALHOS%20MARIELE/MG-Cafe-Analise-Setembro-2023.pdf. Acesso em: 23 de outubro de 2023.

COSTA, L. A. D. M.; COSTA, M. S. S. D. M.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H.; MACCARI, S. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n. 5, p. 675-682, 2013.

COTTA, J. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: Comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Brasília, v.20, n.1 p.65–78, 2015. [http:// dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864](http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864)

COUTINHO, M. P.; CARNEIRO, J. G. D. A.; BARROSO, D. G.; RODRIGUES, L. A.; SIQUEIRA, J. Substrato de cavas de extração de argila enriquecido com subprodutos agroindustriais e urbanos para produção de mudas de sesbânia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n.1, p. 147-153, 2006.

CRUZ, F. R. S.; ANDRADE, L. A.; FEITOSA, R. C. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n.1, p. 69-80, 2016.

CUNHA, R. D.; SOUZA, C. A. S.; NETO, A. A., MELO, B.; CORREA, J. F. Avaliação de substratos e tamanhos de recipientes na formação de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Ciência Agrotec**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2002.

CUNHA, S. H.; LIMA, A. E.; CARVALHO, A. M.; GUIMARÃES, R. J.; CASTRO, E. M.; FARIA, M. M.; TERAMOTO, E. T. Modified hydroponics and phenolic foam as technological innovations in the production of coffee seedlings from cuttings. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 43, n. 1, p. 351-366, 2022.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e climáticas em Lavras, tendências MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6 p.1862-1866, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.

DIAS, R.; MELO, B. D.; RUFINO, M. D. A.; SILVEIRA, D. L.; MORAIS, T. P. D.; SANTANA, D. G. D. Fontes e proporção de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n.3, p.758-764, 2009.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Canadá, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. Rev. atual, Rio de Janeiro, 1997.

ENCALADA-CÓRDOVA, M.; SOTO-CARREÑO, F.; MORALES-GUEVARA, D.; ÁLVAREZ-BELLO, I. Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del caféto (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) en condiciones de vivero. **Cultivos Tropicales**, Mayabeque, v. 37, n. 4, 2016.

FAVARIN, J. L.; NETO, D. D. GARCIA, A.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERMINO, M.H.; KAMPF, A.N. Uso do solo bom Jesus com condicionadores orgânicos como alternativa de substrato para plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.9, n.1-2, p.33- 41, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, F. S.; GONÇALVES, F. C.; NOGUEIRA, C. H.; MARTINS, C. F.; VIEIRA, J. G. Produção de mudas de café arábica em diferentes substratos orgânicos. **Cadernos de Agroecologia**, Pará, v. 15, n. 2, p.1-6, 2020.

GLAESER, D.F.; MERCANTE, F.M.; ALVES, M.A.M.; SILVA, R.F. E KOMORI, O.M. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo orgânico em cultivos de café. **Ensaio e Ciência**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 103-114, 2010.

GONÇALVES, B. H. L.; SOUZA, J. M. A.; FERRAZ, R. A.; TECCHIO, M. A.; LEONEL, S. Efeito do bioestimulante Stimulate® no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro cv. BRS Rubi do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 41, n. 1, p. 147-155, 2018.

LIMA, A. E. D.; GUIMARÃES, R. J.; CUNHA, S. H. B. D.; CASTRO, E. D. M.; CARVALHO, A. M. D.; FARIA, M. M. L. Seedling production of *Coffea arabica* from different cultivars in a modified hydroponic system and nursery using different containers. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 45, n.1, p. e017821, 2021.

LUZ, J. M. Q.; BRANDÃO, F.D; MARTINS, S.T.; MELLO, B. Produtividade de cultivares de alface em função de mudas produzidas em diferentes substratos comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.20, p. 61-65, 2004.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison-Wisconsin, v. 2, n. 1, p.176-177, 1962.

MAIA, P. L.; NADALETI, D. S.; BOTELHO, C.; BOTELHO, D.; MOREIRA, P.; CARVALHO, G. Agronomic performance of coffee in response to framework pruning in cycles of the “safra zero”. **Coffee Science**, Lavras, v. 15, p. e151629-e151629, 2020.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, É. P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. A.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha: Fundação Prócafé, p. 1-542, 2010.

MEDEIROS, D. C. D.; FREITAS, K. C. D. S.; VERAS, F. D. S.; ANJOS, R. S. B. D.; BORGES, R. D.; CAVALCANTE NETO, J. G.; FERREIRA, H. A. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n.2, p. 186-189, 2008.

MENEGHELLI, L. A. M.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, C. M.; KRAUSE, M. R.; VIEIRA, G. H. S. Produção de mudas de café arábica em substrato composto por resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 381 - 388, 2017.

MOREIRA, S. D.; NEIVA JÚNIOR, E.; ARAÚJO, F. H. V.; FRANÇA, A. C.; PORTO, D. W. B.; AGUIAR, F. R. **Fertilizante organomineral para crescimento de mudas e plantas jovens de café arábica**. SBI café, 2018.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; PINTO, S. M.; ABREU, L. R. D.; LEITE, D. F. Utilization of bedded cattle confinement for organic manure of maize crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n.8, p. 620-624, 2019.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Use of Compost Bedded Pack Barn in Maize Fertilization for Silage. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 4, p. 1571-1588, 2020.

NEGREIROS, J.R.S.; ÁLVARES, V.S.; BRAGA, L.R.; BRUCKNER, C.H. Diferentes substratos na formação de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.51, n.294, p.243-345, 2004.

OLIVEIRA, F. D. A.; OLIVEIRA FILHO, A. F.; MEDEIROS, J. F.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; LINHARES, P. C. F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.206-21, 2009.

OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C.; FREITAS, R. B. **ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS**. Universidade Federal de Lavras Departamento de Biologia Setor de Fisiologia Vegetal, Lavras, 2002.

PAULA, R. D. C. M.; SILVA, A. G.; COSTA, E.; BINOTTI, F. F. S. Monitoramento de variáveis micrometeorológicas em diferentes ambientes protegidos no período de inverno. **Revista de agricultura neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 5, p. 103-109, 2017.

PEREIRA, D.C.; GRUTZMACHER, P.; BERNARDI, F.H.; MALLMANN, L.S.; COSTA, L.A.; COSTA, M.S.S. Produção de mudas de almeirão e cultivo no campo, em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1100–1106, 2012.

PEREIRA, I. S.; DE LIMA, K. C. C.; DE MELO JUNIOR, H. B. Substratos orgânicos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 2, p. 17-26, 2017.

R Core Team **\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. <<https://www.R-project.org/>>.

RINALDI, S.; DE LUCIA, B.; SALVATI, L.; REA, E. Understanding complexity in the response of ornamental rosemary to different substrates: A multivariate analysis. **Scientia Horticulturae**, Amsterdã, v. 176, p. 218-224, 2014.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café arábica do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 316 p., 2015.

SANTOS, A. M. M.; OLIVEIRA SILVA, M. A.; SÁ, D. A.; NEVES, L. P. F.; DO NASCIMENTO GOUVEIA, F.; SILVA COSTA, K. D. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e berinjela. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 16, n. 2, p. 206-212, 2021.

SANTOS, E. F.; SANTINI, J. M. K.; PAIXÃO, A. P.; JÚNIOR, E. F.; LAVRES, J.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdã, v. 113, p. 6-19, 2017.

SANTOS, E. H. F.; SILVA, J. A. B.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELONI, D. A.; CASTRO, J. L. G.; NEVES, A. V. F.; VIEIRA, N. Q. B.; SANTOS, A. S. Adubação orgânica como fator determinante de emergência e crescimento de mudas de maracujá-amarelo. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 11, n. 10, p. e360111032584-e360111032584, 2022.

SILVA, J. V. G.; LONGUE, L. L.; JARDIM, A. S.; PINHEIRO, A. P. B.; ROSA, R.; PAGOTO, A. L. R.; AZEREDO, A. L. R.; ARANTES, S. D.; FERNANDES, A. A. Eficiência nutricional na produção de mudas de maracujazeiro azedo em função das concentrações de fósforo em solução nutritiva. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 10, n. 4, e11510413988, 2021.

- SILVA, W. Z.; BRINATE, S. V. B.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, F. T.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, D. Métodos de estimativa da área foliar em cafeeiro. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 7. n. 13, p. 746 – 759, 2011.
- SIQUEIRA, C. H. M.; MOURA, L. B.; ALMEIDA, R. S.; CAMPOS, A. T.; ARAUJO, M. P.; CAIXETA, M. C. Produção de mudas de cultivares de café arábica em diferentes substratos com cama de compost barn. In: IV Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2023. **Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**, 2023.
- SOUZA, D. M. S. C.; AMORIM, Y. F.; NOVAES, A. B.; SANTANA, T. M.; ABREU, G.M.; AGUIAR JUNIOR, A. L. Produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples. **Espacios**, Mérida, Venezuela, v. 38, n. 47, 2017.
- SOUZA, E.G.F.; SANTANA, F.M.S.; MARTINS, B.N.M.; PEREIRA, D.L.; JÚNIOR, A.P.B.; SILVEIRA, L.M. Produção de mudas de cucurbitáceas utilizando esterco ovino na composição de substratos orgânicos. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa vista, v. 8, n. 2, p. 175-183, 2014. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1675>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 858p, 2017.
- TOMAZI, C. V.; GAI, V. F. Produtividade de milho para silagem com utilização do Compost Barn. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 15, p. 9-19, 2022.
- TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N. **Produção de mudas e plantio. In: Café arábica: do plantio a colheita**. Viçosa, MG, p. 24-45, 2015.
- TORRES, A. J.; BREGAGNOLI, M.; MONTEIRO, J. M. C.; CARVALHO, C. A. M. Emergência de plântulas de cafeeiro em substratos de borra de café. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.4, n.3, p. 1-7, 2012.
- VERDONCK, O. F. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. **Acta Horticulturae**, Leuven, Bélgica, v.150, p.155-160, 1984.
- ZAMBOLIM, L.; VIDA, J.B.; TESSMANN, D.J.; BRANDÃO FILHO, J.U.T.; VERZIGNASSI, J.R.; CAIXETA, M.P. (2004) Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília – DF, v.29, n.4, p.355-372, 2004.
- ZHANG, D.; VEJA, F.E.; SOLANO, W.; SU, F.; INFANTE, F.; MEINHARDT, L.W. Selecting a core set of nuclear SNP markers for molecular characterization of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) genetic resources. **Conservation Genetics Resources**, Londres, Reino Unido, v.13, p. 329–35, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12686-021-01201-y>.
- ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S. R. Efeito de diferentes substratos e épocas de coleta no enraizamento de estacas herbáceas de goiabeira, cvs. Paluma e Século XXI. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n.1, p. 31-36, 2007.

**ARTIGO 2: CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA, TEMPERATURA  
BASE E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA UTILIZANDO  
DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**ARTIGO REDIGIDO CONFORME O MANUAL DE NORMALIZAÇÃO E  
ESTRUTURA DE TRABALHOS ACADÊMICOS: TCCS, MONOGRAFIAS,  
DISSERTAÇÕES E TESES 4ª EDIÇÃO REVISTA, ATUALIZADA E AMPLIADA**

## CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA, TEMPERATURA BASE E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATO EM AMBIENTE PROTEGIDO

### RESUMO

A produção bem-sucedida na cafeicultura depende de diversos fatores, incluindo as condições micrometeorológicas favoráveis para o desenvolvimento inicial das mudas que são particularmente sensíveis às condições ambientais. Neste contexto, o cultivo protegido é uma agrotecnologia que se tornou muito popular entre os produtores. Assim, a pesquisa tem como objetivo caracterizar o ambiente térmico, além de determinar a radiação global interceptada, estimar a temperatura base ( $T_b$ ) e o tempo térmico para a emissão de folhas para as mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes formulações de substratos, com reaproveitamento da cama de *Compost Barn*. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado 2x5, correspondendo a duas cultivares e cinco substratos. Os dados micrometeorológicos foram coletados em três pontos dentro da casa de vegetação usando sensores automáticos. Para o ambiente externo, foram utilizados dados da estação meteorológica convencional da UFLA. As avaliações incluíram a determinação da temperatura base para a emissão de folhas, filocrono e radiação global interceptada. As variáveis micrometeorológicas avaliadas na casa de vegetação e ambiente externo apresentaram boa correlação entre si. Os maiores valores e variabilidade de temperatura superficial do substrato foram registrados às 12h, enquanto que, os menores, às 9h. A maior quantidade de radiação global interceptada foi de 29,5% da radiação incidente em 180 dias. Os resultados indicaram que as médias da temperatura base para emissão de folhas nos diversos tratamentos variaram de 11,3°C a 12,7°C, para a cultivar MGS Paraíso, e 10,1°C a 12,5°C, para cultivar Catuaí Amarelo, enquanto as médias dos filocronos variaram de 82,8 a 99,4°C dia folha<sup>-1</sup>, para a cultivar MGS Paraíso, e para a cultivar Catuaí Amarelo houve uma variação de 74,9 a 105,4°C dia folha<sup>-1</sup>. As médias das temperaturas base demonstraram similaridade nas condições térmicas durante o desenvolvimento das mudas de café arábica. Foi possível concluir que o estudo revelou notável variação no filocrono médio entre as cultivares, evidenciando a necessidade de diferentes quantidades de energia térmica para emissão de um par de folhas.

**Palavras-chave:** Ambiência vegetal. Café arábica. Temperatura base. Filocrono.

## ABSTRACT

Successful production in coffee farming depends on several factors, including favorable micrometeorological conditions for the initial development of seedlings, which are particularly sensitive to environmental conditions. In this context, protected cultivation is an agrotechnology that has become very popular among producers. Thus, the research aims to characterize the thermal environment, in addition to determining the global radiation intercepted, estimating the base temperature ( $T_b$ ) and the thermal time for the emission of leaves for Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings subjected to different substrate formulations, with reuse of *Compost Barn* litter. The experimental design was completely randomized 2x5, corresponding to two cultivars and five substrates. Micrometeorological data were collected at three points inside the greenhouse using automatic sensors. For the external environment, data from the UFLA conventional meteorological station were used. Assessments included determining the base temperature for leaf emission, phyllochron and global intercepted radiation. The micrometeorological variables evaluated in the greenhouse and external environment showed good correlation with each other. The highest values and variability of surface temperature of the substrate were recorded at 12:00, while the lowest at 9:00. The largest amount of global radiation intercepted was 29.5% of incident radiation in 180 days. The results indicated that the average base temperature for leaf emission in the different treatments varied from 11.3°C to 12.7°C, for the MGS Paraíso cultivar, and 10.1°C to 12.5°C, for cultivar Catuaí Amarelo, while the phyllochron averages varied from 82.8 to 99.4°C day leaf-1, for the cultivar MGS Paraíso, and for the cultivar Catuaí Amarelo there was a variation from 74.9 to 105.4°C day sheet-1. The average base temperatures demonstrated similarity in thermal conditions during the development of Arabica coffee seedlings. It was possible to conclude that the study revealed notable variation in the average phyllochron between the cultivars, highlighting the need for different amounts of thermal energy to issue a pair of leaves.

**Keywords:** Plant environment. Arabica coffee. Base temperature. Phyllochron.

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do café arábica (*Coffea arabica* L.) é de grande importância econômica e social em diversas regiões do mundo. É cultivado em mais de 80 países tropicais, proporcionando renda a mais de 25 milhões de famílias, tornando uma das commodities mais comercializadas no mercado global (DAMATTA *et al.*, 2019, HUNT *et al.*, 2020, FAO, 2022).

No Brasil, as regiões cafeeiras são bem distintas, cada uma com características ambientais definidas, que influenciam a resposta das cultivares desenvolvidas. A resposta diferenciada de materiais genéticos a diferentes ambientes evidencia o que se conhece como interação genótipo-ambiente, o que indica que o comportamento dos genótipos é influenciado pelas condições ambientais (CUCOLOTTI *et al.*, 2007). Assim, um indivíduo que tenha desempenho superior, em um dado ambiente, pode não apresentar desempenho satisfatório quando sujeito a outras condições.

Sabe-se que o cafeeiro é uma planta C3, ou seja, é uma planta de ambiente sombreado, que possui adaptações fisiológicas e morfológicas para isso (SEVERINO; OLIVEIRA, 2015). Mas, é também uma espécie que se adaptou bem às condições de pleno sol, e, em alguns países, como o Brasil, atualmente, os cafezais vêm sendo conduzidos quase exclusivamente a pleno sol (COLTRI *et al.*, 2019).

Contudo, a agricultura depende diretamente dos recursos naturais, bem como das condições climáticas e meteorológicas e manter a produção agrícola num cenário de mudanças climáticas configura um desafio (FAO, 2016). A produção bem-sucedida na cafeicultura depende de diversos fatores, incluindo as condições meteorológicas favoráveis para o desenvolvimento inicial das mudas, que, em sua fase inicial, são particularmente sensíveis às condições ambientais. Dessa forma, as variáveis micrometeorológicas desempenham papel crucial nesse processo.

O cultivo protegido é uma agrotecnologia que se tornou muito popular entre os produtores. A cobertura da cultura permite a regulação de macro e microambientes, facilitando o desempenho ideal da planta, prolongando a duração da produção, induzindo a precocidade e obtendo rendimentos maiores e de melhor qualidade (GRUDA; TANNY, 2014, GRUDA; TANNY, 2015).

Dentre as variáveis ambientais que determinam o crescimento e desenvolvimento de plantas, a radiação solar interceptada pela planta é a principal fonte de energia para os processos de fotossíntese, produção de biomassa, balanço de energia, troca de dióxido de carbono e

transpiração (MARISCAL *et al.*, 2000; CONSOLI *et al.*, 2006, SIMON; ALMEIDA, 2014). Nesse caso, a maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada pelo dossel das plantas é fundamental para a fotossíntese e para a produção das culturas (STEWART *et al.*, 2003).

Contudo, as variáveis micrometeorológicas em ambiente protegido apresentam comprovada variabilidade espacial, influenciando no desenvolvimento das culturas por meio de efeitos na transpiração e na fotossíntese. O controle e o monitoramento dessas variáveis, principalmente a umidade e a temperatura do ar, são fatores importantes, podendo interferir de forma benéfica ou maléfica no desenvolvimento da planta (SANTOS *et al.*, 2010). A temperatura do ar é considerada o principal elemento meteorológico que afeta o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da maioria das espécies vegetais (ARNOLD, 1959; MARTINS *et al.*, 2012).

No entanto, o desenvolvimento vegetal pode ser estimado por meio da velocidade de emissão de folhas. Uma forma bastante usual de quantificar a temperatura do ar no desenvolvimento vegetal é por meio da soma térmica diária (ROSA *et al.*, 2009), que envolve a diferença entre a temperatura média do ar diária e a temperatura base ( $T_b$ ) (ARNOLD, 1959; ROSA *et al.*, 2009; SOUZA; MARTINS, 2014). Porém, para as mudas de café, são poucos os estudos encontrados que envolvem a estimativa da  $T_b$ , para sua fase vegetativa, esse aspecto destaca a importância deste estudo em compreender a adaptabilidade e as exigências térmicas de cultivo na sua fase vegetativa. A soma térmica, associada ao desenvolvimento vegetal, é empregada na avaliação da resposta fisiológica das plantas às condições ambientais. Essa medida está diretamente relacionada a processos fisiológicos essenciais, tais como expansão da área foliar, absorção de radiação solar, fotossíntese, acúmulo de biomassa e evapotranspiração (SINCLAIR *et al.*, 2004; STRECK *et al.*, 2005a; DELLAI *et al.*, 2005).

Entretanto, para quantificar o desenvolvimento vegetal, geralmente utiliza-se a variável número de folhas acumuladas (NF), por esta variável estar associada com o aumento da área foliar, interceptação da radiação solar e fotossíntese (XUE *et al.*, 2004; ROSA *et al.*, 2009). Uma maneira utilizada como forma de relacionar a soma térmica e o NF é por meio do conceito de filocrono, que é o intervalo contabilizado para o aparecimento de duas folhas consecutivas na haste principal (XUE *et al.*, 2004; STRECK *et al.*, 2005a), tendo como unidade  $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  folha<sup>-1</sup> (STRECK *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2007).

A temperatura do substrato também exerce grande influência sobre o crescimento das plantas, sendo uma variável que pode afetar os processos fisiológicos e biológicos que são

essenciais para o crescimento das plantas, podendo afetar a taxa de atividade enzimática e, conseqüentemente, a capacidade da planta de metabolizar nutrientes (SILVA *et al.*, 2006). A temperatura do solo é adequada, as enzimas responsáveis pela absorção de nutrientes pelas raízes das plantas tornam-se mais ativas.

Outro fator importante na produção vegetal está relacionado à formulação dos substratos, pois, para formação adequada das mudas, a composição dos substratos é essencial para assegurar sua produtividade. A adição de fontes de matéria orgânica ao solo contribui não só para o fornecimento de nutrientes, mas também para a melhoria dos atributos físicos do meio de cultivo, com isso, o uso de resíduos orgânicos de forma equilibrada em formulações de substratos é de fundamental importância para o pleno desenvolvimento das plantas quando estão na fase de mudas (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Visando contribuir para um melhor entendimento dos fatores envolvidos na interação planta-ambiente, este trabalho teve como objetivo caracterizar o ambiente térmico, além de determinar a radiação solar interceptada, estimar a temperatura base ( $T_b$ ) e o tempo térmico para a emissão de folhas para as mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes formulações de substratos com reaproveitamento da cama de *Compost Barn*.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Lavras - UFLA, situada na cidade de Lavras, sul do Estado de Minas Gerais, com uma altitude média de 910 metros, latitude de 21°14'06"S e longitude de 45°00'00"W. A classificação climática proposta por Köppen é do tipo Cwa, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1.530 mm e temperatura média anual de 19,4°C (DANTAS *et al.*, 2007).

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A estrutura é tipo capela, com área total de 233,3 m<sup>2</sup>, largura de 8,1 m, comprimento de 28,8 m, pé-direito de 2,0 m e altura total de 3,5 m, orientada no sentido Leste-Oeste, coberta por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 µm de espessura. Os fechamentos transversais e longitudinais possuem tela sombrite (50%). As unidades experimentais foram distribuídas sobre uma bancada, com altura de 1 m do nível do solo, comprimento de 8 m e largura de 1 m (Figura 1).

Figura 1 - Estrutura de cultivo protegido e configuração das unidades experimentais sobre a superfície da bancada.



Fonte: Acervo da pesquisa.

## 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, correspondendo a duas cultivares: MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62, e cinco substratos: S<sub>1</sub>: Substrato padrão de café (30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato + cloreto de potássio + calcário); S<sub>2</sub>: (50% de cama de *Compost Barn* + 50% de terra de subsolo); S<sub>3</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo); S<sub>4</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 30% de areia + 40% terra de subsolo); S<sub>5</sub>: (30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo + Superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico), com cinco repetições. Cada parcela experimental foi constituída por quatro sacos de polietileno com dimensões 10 cm de largura x 20 cm de altura, totalizando 200 sacos de mudas.

## 2.3 Condução do experimento

O solo usado no preenchimento dos sacos foi a terra de subsolo, coletado na UFLA e a cama do *Compost Barn* utilizada foi proveniente da fazenda Progresso Olaria, situada na comunidade Cajuru do Cervo, no município de Lavras-MG.

Em seguida, foi realizada a mistura dos materiais para composição dos substratos, conforme os tratamentos estabelecidos, e coletadas amostras para análise química (EMBRAPA, 1997). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características físicas do solo utilizado na composição dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.

<b>Análise granulométrica (dag kg<sup>-1</sup>)</b>			
Classificação do solo	Argila	Silte	Areia
Solo Tipo 3	68	14	18

Solo Tipo 1: Textura Arenosa; Solo Tipo 2: Textura Média; Solo Tipo 3: Textura Argilosa.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Tabela 2 - Caracterizações físico-químicas iniciais dos substratos utilizados no experimento, realizada pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência Do Solo (DCS) da UFLA.

Parâmetros	Unidade de medida	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
CE	mS cm <sup>-1</sup>	2,24	1,68	0,80	0,90	3,15
pH	-	6,4	7,8	7,5	8,5	7,1
Al	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,10	0,10	0,10	0	0,10
S	mg dm <sup>-3</sup>	579,60	73,80	39,10	36,80	562,90
P	mg dm <sup>-3</sup>	95,63	45,40	16,35	21,36	115,62
Mg	cmolc dm <sup>-3</sup>	1,93	2,80	1,86	1,68	1,92
K	mg dm <sup>-3</sup>	903,89	1207,21	799,92	913,44	1520,02
Ca	cmolc dm <sup>-3</sup>	5,79	3,13	2,27	2,12	5,64
N	g kg <sup>-1</sup>	2,99	3,96	2,51	1,40	1,71
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	20,10	24,40	18,80	41,80	23,10
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	71,50	32,70	29,40	68,80	37,90
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	9,70	9,10	6,40	6,80	6,80
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	2,93	0,64	0,96	1,25	5,05
Na	mg dm <sup>-3</sup>	140,00	304,00	196,00	213,00	268,00
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,19	0,35	0,31	0,31	0,25

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos. CE: Condutividade Elétrica; pH: Potencial Hidrogeniônico; Al: Alumínio; S: Enxofre; P: Fósforo; Mg: Magnésio; K: Potássio; Ca: Cálcio; N: Nitrogênio; Mn: Manganês; Fe: Ferro; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Na: Sódio; B: Boro.

Fonte: Acervo da pesquisa.

Em relação à composição dos cinco substratos adotados no preenchimento dos sacos de polietileno, o primeiro substrato foi o padrão de café, composto por 30% esterco bovino + 70% terra de subsolo + superfosfato simples + cloreto de potássio + calcário dolomítico, que foi formulado com base na indicação de Sakiyama *et al.* (2015), os quais recomendam para cada

m<sup>3</sup> de substrato utilizar 700 L de terra peneirada, 300 L de esterco de curral curtido e peneirado com adição de 3 a 5 kg de superfosfato simples e 0,5 a 1,0 kg de cloreto de potássio e 1,0 a 2,0 kg de calcário dolomítico. Para os demais substratos, foram utilizados o composto orgânico para as formulações, proveniente do sistema *Compost Barn* e terra de subsolo “barranco”, previamente peneirada para retirada de materiais indesejados. O material não passou por nenhum tipo de correção ou tratamento preliminar. O segundo substrato foi formulado com 50% de cama de *Compost Barn* + 50% de terra de subsolo e o terceiro substrato formulado com 30% de cama de *Compost Barn* + 70% terra de subsolo. Enquanto, para a quarta formulação, foi acrescentada areia lavada, adquirida no Departamento de Cafeicultura, correspondendo a 30% de cama do *Compost Barn* + 30% de areia + 40% terra de subsolo. O quinto substrato foi formulado com 30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo, adicionando-se superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico, nas proporções recomendadas para o substrato padrão do café, como citado anteriormente. Os substratos foram formulados com base nos trabalhos desenvolvidos por Sakiyama *et al.* (2015), Santos *et al.*, (2021), Souza *et al.*, (2017), Cunha *et al.*, (2002) e Verdonck, (1984).

A cama empregada foi proveniente de sistema *Compost Barn* (CB) método de confinamento para bovinos o qual agrega valor à produção leiteira pelo conforto e bem-estar animal. O sistema consiste em um galpão retangular que possuía uma grande área comum, denominada de área de descanso, projetada para oferecer espaço suficiente para o descanso e a movimentação das vacas. Os animais confinados são raça holandesa preto e branca, na densidade de 10 m<sup>2</sup> por vaca. No sistema *Compost Barn*, a cama é composta principalmente por serragem, acrescentando um pouco de maravalha, a espessura média da cama varia, mas geralmente é mantida em níveis adequados para garantir o conforto e o bem-estar dos animais. Sendo revolvida de duas a três vezes ao dia, durante os períodos de ordenha, permitindo a aeração adequada e otimizando o processo de compostagem. A reposição da cama é realizada periodicamente, com o tempo de duração dependendo das condições específicas da operação.

As cultivares utilizadas no experimento foram a MGS Paraíso 2 e Catuaí Amarelo IAC 62. As sementes foram adquiridas da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Estudar duas cultivares diferentes permite explorar a diversidade genética e entender como ela influencia o desempenho das plantas. As cultivares de café podem ter diferenças genéticas significativas que afetam características como resistência a pragas, adaptação a condições climáticas específicas e produtividade.

A semeadura foi realizada no dia 23 de fevereiro de 2023, sendo depositadas duas sementes na profundidade de 1,0 cm em cada saco de polietileno, de acordo com Tomaz *et al.* (2015), que foram irrigados diariamente, de modo a manter a umidade à capacidade de campo, em todos os tratamentos. O desbaste foi feito quando as mudas se encontraram no estágio “orelha de onça” (iniciando a emissão do primeiro par de folhas verdadeiras). Não tendo sido necessária a realização de controle sanitário. Já o controle das plantas daninhas foi realizado por meio da retirada manual.

## 2.4 Características avaliadas

Para a estimativa da temperatura base para emissão de folhas ( $T_b$ ) e determinação do filocrono, foi selecionada uma muda de cada repetição, perfazendo cinco mudas por tratamento, totalizando 50 mudas. A contagem do número de folhas emitidas na haste principal (NF) das mudas marcadas foi realizada duas vezes por semana, as quais iniciaram no dia 12 de junho de 2023 quando havia duas folhas visíveis e terminaram no dia 23 de agosto de 2023 quando considerou-se a muda apta para o transplante a campo, de acordo com os parâmetros recomendados por (MATIELLO *et al.*, 2010). As folhas foram consideradas visíveis quando apresentavam comprimento do limbo foliar de no mínimo 1,0 cm (MARTINS *et al.*, 2007).

Para o cálculo da Soma Térmica Diária (STd °C dia) foi utilizado o método proposto por ARNOLD (1960) pela seguinte equação:

$$STd = (T_{med} - T_b) \cdot 1 \text{ dia} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: STd= Soma Térmica Diária (°C), Tmed= Temperatura Média do ar (°C), calculada pela média aritmética entre as temperaturas mínimas e máximas diárias do ar, e  $T_b$ = Temperatura base para emissão de folhas de café.

Para os cálculos da STd, foram utilizados os valores de  $T_b$  de 0°C, 0,5°C, 1,0°C até 20°C variando de 0,5°C (SINCLAIR *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2007). Para o cálculo da soma térmica acumulada (STa, °C dia), acumulou-se a STd a partir da data da semeadura.

A partir dos dados do NF, foi estimada a  $T_b$ , conforme a metodologia do menor valor do Quadrado Médio do Erro (QME) (SINCLAIR *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2007; LUCAS *et al.*, 2012). Na metodologia QME, para cada planta foram estimadas equações de regressão linear simples, entre os valores de NF e a STa, para cada planta, em função da STa calculada,

com as diferentes  $T_b$ s. O valor da  $T_b$  estimado foi o que apresentou o menor QME encontrado nas equações de regressão linear simples (SINCLAIR *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2007).

Após determinar a  $T_b$  para as mudas de café, deu-se procedimento à estimativa do filocrono desta espécie, para a qual utilizou-se o inverso do coeficiente angular dessa regressão, ou seja, filocrono =  $1/a$  (XUE *et al.*, 2004). Para cada planta, foi ajustada uma regressão linear simples entre e o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e a soma térmica acumulada (STa), a partir da data de emissão de cada folha, utilizando-se a  $T_b$  estimada neste estudo, ou seja:

$$NF = a \cdot STa + b \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $a$  = coeficiente angular,  $b$  = coeficiente linear e Soma Térmica acumulada (STa) =  $\sum STd$  ( $^{\circ}C \text{ dia}^{-1}$ ).

Os valores de radiação solar interceptada foram medidos mensalmente, durante todo período experimental, coletados em dois pontos sobre influência na área do experimento. Um desses pontos está localizado de forma mais central, enquanto o outro está posicionado mais próximo à lateral da casa de vegetação, o ponto central e o ponto lateral foram estrategicamente escolhidos para fornecer uma compreensão abrangente do comportamento da radiação incidente no ambiente experimental. A radiação incidente foi medida acima e abaixo do dossel das plantas com um piranômetro portátil, que registrou medições no período das 09, 12 e 15 h. Os valores de radiação solar interceptada foram obtidos conforme a seguinte equação:

$$\% \text{ Interceptado} = [100 - (R_n \times 100 / R_t)] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $R_n$  = radiação incidente abaixo do dossel;  $R_t$  = radiação incidente acima do dossel.

## 2.5 Coleta e análise dos dados

Durante o período da produção das mudas, foi realizado o monitoramento e caracterização de variáveis micrometeorológicas, e foram coletadas médias horárias no interior do ambiente protegido, da temperatura do ar ( $T$ ,  $^{\circ}C$ ), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global ( $R_g$ ,  $Wm^{-2}$ ), concentração de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ , ppm) e temperatura

superficial do substrato (°C), no período experimental de 23 de fevereiro de 2023 a 23 de agosto de 2023.

Para coletar os dados de temperatura e a umidade relativa foram instalados, na casa de vegetação, dataloggers com sensores de temperatura e umidade relativa do ar (HOBO U10-003), com precisão de  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ ), sensor de umidade relativa do ar com precisão de  $\pm 2,5\%$  (10% a 90% de umidade relativa). Foram utilizados três equipamentos desse tipo, instalados em três pontos, sendo que o ponto 1 correspondeu ao centro geométrico da instalação, a 1,5 m do solo. Os pontos 2 e 3 foram espacializados sobre a bancada com as unidades experimentais. Os instrumentos foram pré-configurados para realizarem leituras automaticamente a cada 10 minutos, durante as 24h, durante todo período experimental.

Para o ambiente externo, as médias diárias foram calculadas a partir dos valores de T e UR, obtidos da estação meteorológica, da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

A Radiação solar global (Rg) foi determinada com auxílio de um piranômetro (medidor de energia solar digital portátil mod. MES-100). A Rg foi medida nos três pontos definidos na instalação, sendo que nos pontos 2 e 3 a radiação global foi determinada tanto abaixo do dossel das mudas, quanto acima do dossel das mudas, bem como no exterior da instalação. A radiação solar global dentro da estufa foi estimada considerando a transmissividade da cobertura plástica da radiação solar global incidente sobre a cobertura da estufa.

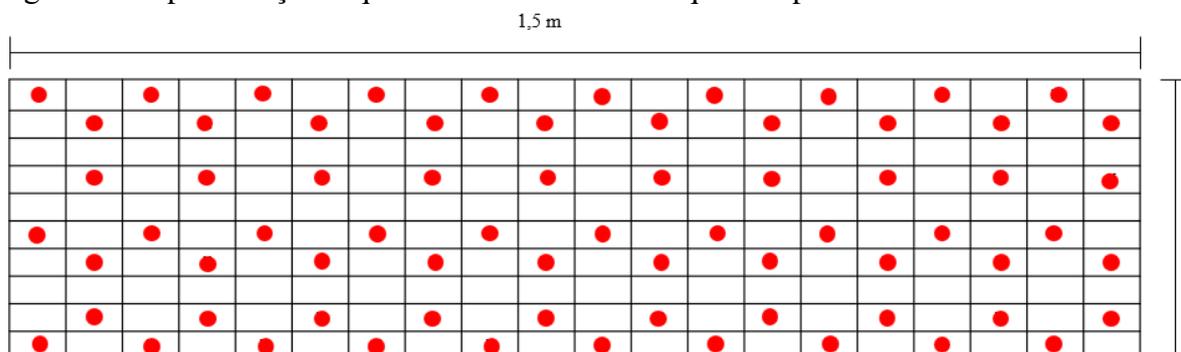
Para obter maior precisão, a Radiação global (Rg) foi determinada no ambiente externo próximo à casa de vegetação, no mesmo ponto durante todo o período, sem que houvesse interferência de edificações, utilizando o medidor de energia solar digital portátil modelo MES-100.

As concentrações de  $\text{CO}_2$  foram determinadas utilizando o monitor de  $\text{CO}_2$  Telaire 7001, com precisão de  $\pm 50$  ppm, as leituras eram exibidas pelo equipamento acerca de cada 30 segundos. As determinações de Rg e  $\text{CO}_2$  foram realizadas nos pontos pré-estabelecidos e ocorreram das 9 às 18 horas, com intervalos de 3 horas entre as medições (9, 12, 15 e 18 h). Os dados foram coletados três dias por semana (segunda, quarta e sexta). A partir dos dados obtidos nos três pontos elencados, foram calculadas as médias dessas variáveis para o ambiente interno em relação aos dias de avaliação.

A temperatura superficial dos substratos foi verificada nos sacos das mudas por meio de termômetro infravermelho ITTI500, com precisão de  $\pm 1,5\%$  ou  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , e foram selecionados 70 sacos de mudas de um total de 200 recipientes. As células foram selecionadas considerando uma malha amostral representativa, abrangendo os pontos laterais e centrais da área de

influência experimental (Figura 2). A temperatura foi verificada no horário das (9, 12, 15 e 18 h), com coleta de dados três dias por semana (segunda, quarta e sexta).

Figura 2 - Representação esquemática das 70 células que compuseram a malha amostral.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Essas leituras ocorreram nos horários pré-estabelecidos para as demais avaliações (9, 12, 15 e 18h). A variabilidade da temperatura na superfície dos substratos foi caracterizada com base na estatística descritiva com os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas, coeficiente de variação, amplitude, desvio padrão, mediana e valores dos quartis.

As variáveis micrometeorológicas da casa de vegetação foram correlacionadas com as do ambiente externo por meio de regressão linear simples. Os critérios estatísticos para seleção de modelos foram baseados no teste F, no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), nos coeficientes de correlação de Person ( $r$ ) e Spearman ( $\rho$ ). Para as análises dos dados de temperatura superficial dos substratos, foi realizada a avaliação da variação por meio de medidas estatísticas de posição e de variabilidade. Foi considerado o coeficiente de variação (CV) baixo ( $CV \leq 12\%$ ), médio ( $12 < CV \leq 60\%$ ) e alto ( $CV > 60\%$ ), conforme classificação de Warrick e Nielsen (1980). As avaliações foram realizadas no software Minitab® versão 20.3. As demais avaliações foram realizadas no software Microsoft® Excel® 2019 MSO (Versão 23.11).

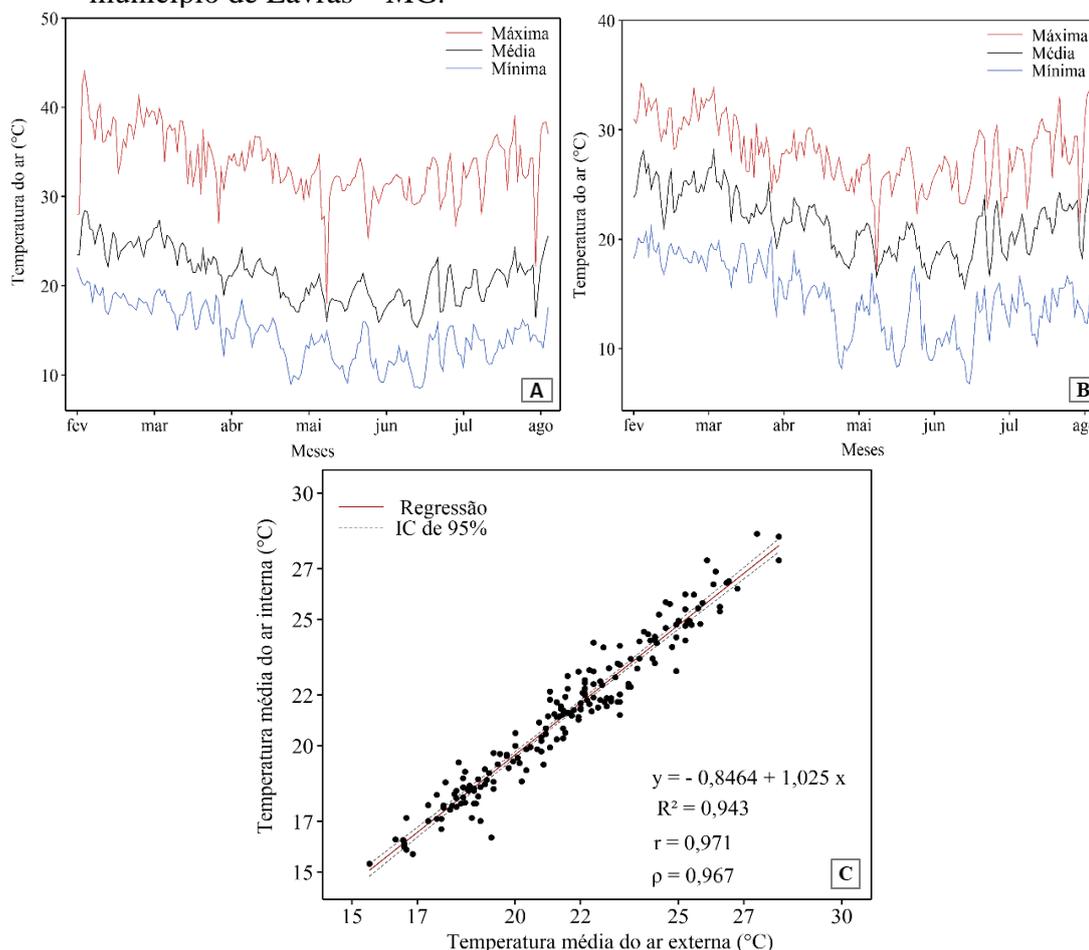
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar na casa de vegetação variou durante o período de produção das mudas de 8,5 a 44,0°C, com temperatura média do ar de 22,6°C (Figura 3A). No ambiente externo a variação foi de 6,8 a 34,2°C, com temperatura média do ar de 21,5 °C (Figura 3B).

Observa-se acréscimo de 1,1°C no valor médio da temperatura do ambiente protegido em relação ao ambiente externo. Em relação à análise de correlação linear da temperatura média do ar, utilizando os dados do ambiente protegido como variável dependente, foi observada uma

forte correlação entre os valores do ambiente externo e da casa de vegetação, indicado pelo alto valor de coeficiente de determinação  $R^2 = 0,943$ , como também pela obtenção dos elevados valores de coeficiente de correlação de Pearson  $r = 0,971$  e Spearman  $\rho = 0,967$  (Figura 3C).

Figura 3 - Variação da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no ambiente interno, casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da temperatura média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Apesar de ter ocorrido variações distintas nas temperaturas diárias entre a casa de vegetação e o ambiente externo, com maiores variações no interior do ambiente, as médias ao longo do período foram semelhantes para ambos ambientes. O ambiente interno apresentou temperatura média mais alta, o que já era esperado devido à interrupção do processo convectivo pela cobertura plástica que impede a passagem do ar quente para o exterior. A retenção das ondas longas de radiação solar contribui para a criação de um efeito estufa, resultando no aumento da temperatura do ar no interior do ambiente.

Nesse sentido resultados semelhantes foram observados por Vázquez *et al.* (2005), os quais registraram um acréscimo de apenas 0,99°C na média da temperatura no ambiente protegido em comparação com o ambiente externo.

De acordo com Cardoso *et al.* (2008), as alterações na temperatura do ar em ambientes protegidos estão associados ao balanço de energia. Já que o balanço de energia no interior do ambiente protegido é menor que no ambiente externo, e a cobertura atua como uma barreira física, retendo energia no ambiente, sabe-se que esse fenômeno é decorrente da interação da radiação solar com o filme plástico que atenua a radiação incidente, no entanto, a cobertura e o tamanho dos fechamentos laterais contribuem para a retenção da massa de ar quente, dificultando as trocas por convecção (GUISELINI *et al.*, 2013; CAVALCANTI *et al.*, 2019).

Entretanto, a casa de vegetação possuía sombrite (50%) nas laterais, sendo um dos fatores que podem ter contribuído para temperatura interna apresentar pouca diferença na média, quando comparado com o ambiente externo. Embora o sombrite (50%) permite a entrada de radiação solar, ele também pode facilitar as trocas de calor por convecção, pois, o ar aquecido dentro da casa de vegetação pode ser mais propenso a subir e escapar, parcialmente, nas aberturas laterais. Isso pode resultar em um aquecimento menos intenso em comparação com outros tipos de fechamentos laterais, como em estufas convencionais.

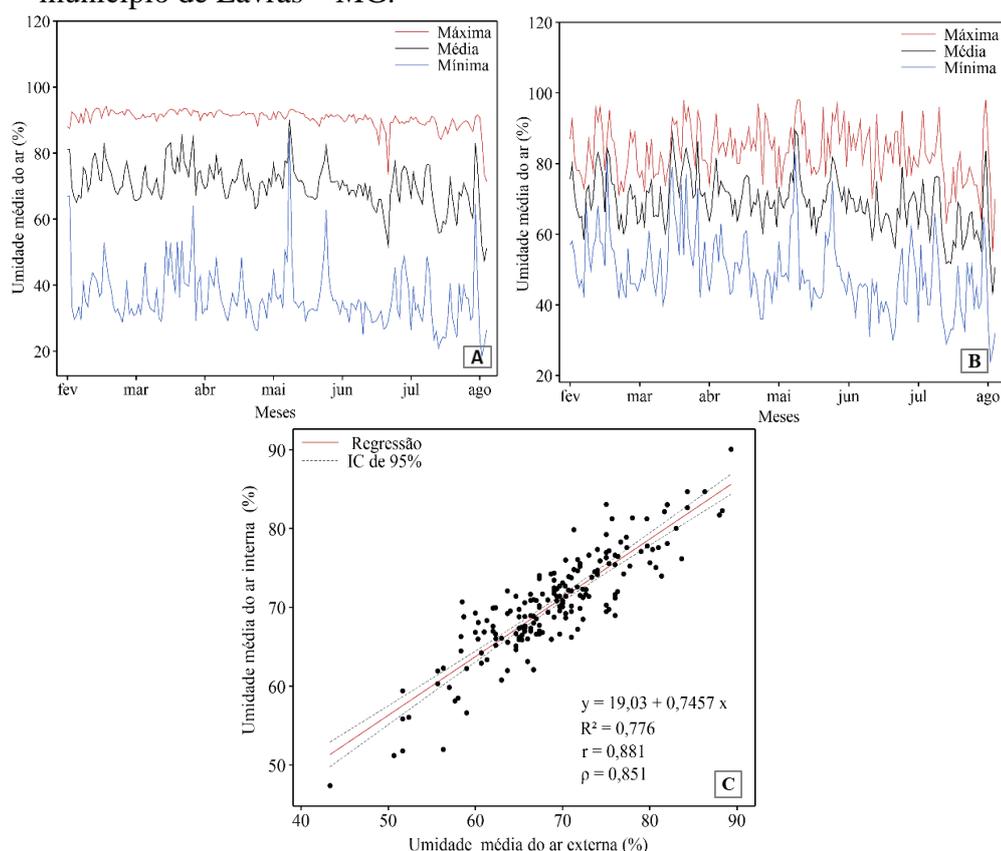
No entanto, isso pode ser benéfico para evitar o superaquecimento do ambiente, promovendo temperatura mais controlada e permitindo trocas de calor mais eficientes. Temperaturas elevadas no interior do ambiente, durante um período muito longo, podem influenciar de forma negativa no metabolismo vegetal e, em alguns casos, levar as plantas à morte (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A produção agrícola em ambiente controlado tem como objetivo atenuar a intensidade do fluxo de radiação solar e da temperatura, visto que algumas espécies são especialmente susceptíveis à radiação solar direta, influenciando negativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (REIS *et al.*, 2012). No Brasil, tem crescido o uso de tela plástica na agricultura visando atenuar a densidade de fluxo de radiação solar, possibilitando o cultivo, em épocas com alta disponibilidade energética (REBOUÇAS *et al.*, 2015).

Com relação à variável umidade relativa do ar na casa de vegetação, a variação durante o período experimental foi de 18,6 a 94,2%, com umidade média de 67 % (Figura 4A). Para o ambiente externo a variação foi de 24 a 98% e umidade média de 69% (Figura 4B). A umidade relativa interna média foi 2% menor em relação ao ambiente externo. A relação funcional entre

a umidade relativa média do ar no ambiente protegido e externo proporcionou um bom coeficiente de determinação  $R^2 = 0,776$ , com os coeficientes de correlação de Pearson  $r = 0,881$  e Spearman  $\rho = 0,851$ , contribuindo para boa associação linear entre a variável analisada nos dois ambientes (Figura 4C).

Figura 4 - Variação da umidade relativa do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da umidade média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.



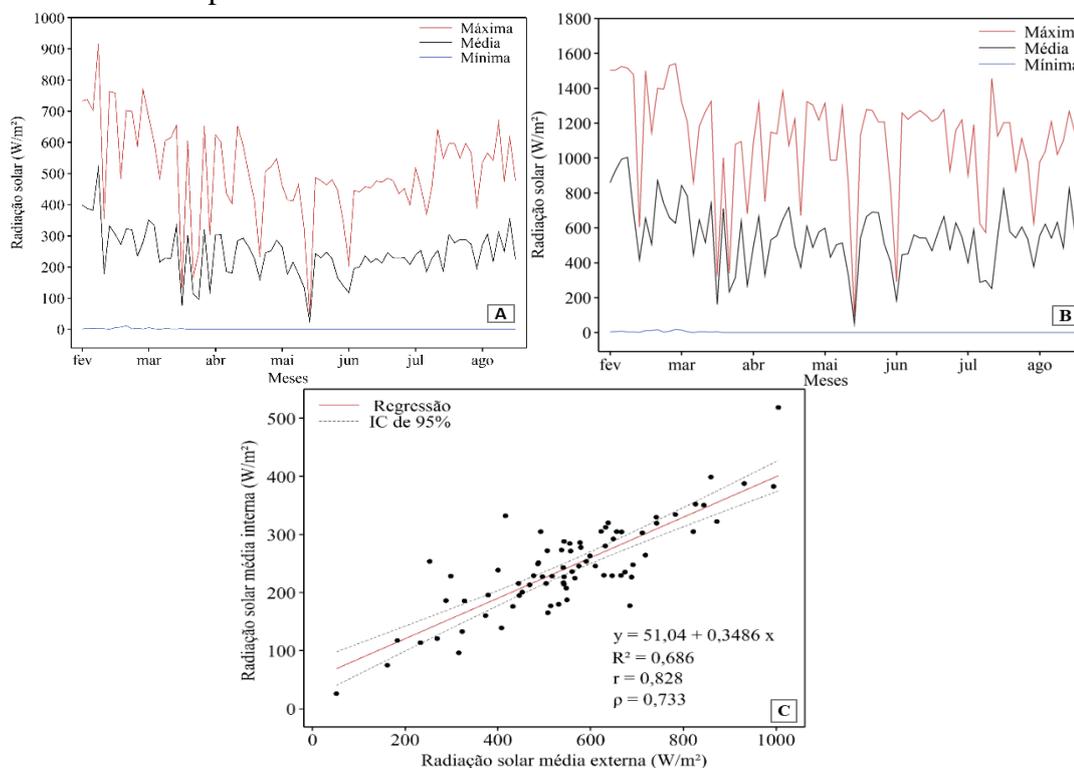
Fonte: Acervo da pesquisa.

A maior variação da umidade relativa do ar ocorreu no ambiente externo, em comparação com a casa de vegetação. Em relação a média do ambiente externo, essa foi levemente mais alta. As médias ao longo do período mantiveram-se semelhantes para ambos ambientes. Isso pode significar que, em média, as condições térmicas no interior da casa de vegetação foram mantidas em um nível equivalente às condições externas, apesar das flutuações diárias. No entanto, a umidade relativa no interior do ambiente protegido e a temperatura do ar possuem seus valores inversamente parecidos e variáveis, isto é, com o crescimento da temperatura, a umidade relativa do ar diminui no interior do ambiente, tornando-se equivalente ou inferior à umidade externa (SILVA *et al.*, 2022).

Em experimento realizado por Vásquez *et al.* (2005), em relação aos valores encontrados de umidade relativa do ar, foi registrado na área interna do ambiente protegido nível de 71,17% e externo 74,25%. A umidade relativa interna média foi 3,08% menor em relação ao ambiente externo, assemelhando-se com os dados da pesquisa.

A radiação solar durante o período analisado variou de 0 a 919,76 W m<sup>-2</sup> com média de 250,07 W m<sup>-2</sup> no interior do ambiente protegido (Figura 5A). No ambiente externo, a radiação variou de 0 a 1542,04 W m<sup>-2</sup>, com média de 540,58 W m<sup>-2</sup> (Figura 5B). A diferença na transmissividade da radiação solar entre o valor máximo e a média diária no ambiente interno indica que, apesar de ter horários com boa incidência solar, a média ao longo do período não foi significativamente elevada em comparação com o ambiente externo. No entanto, a radiação solar na casa de vegetação e no ambiente externo resultou em boa associação entre as variáveis, com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,686$  bem como elevados valores de coeficientes de correlação de Pearson  $r = 0,828$  e Spearman  $\rho = 0,733$  na análise do período experimental (Figura 5C).

Figura 5 - Variação da radiação solar (W m<sup>-2</sup>), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação da radiação solar média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.



Fonte: Acervo da pesquisa.

A análise revela que variações diárias podem ter contribuído para uma distribuição não uniforme nos momentos de alta incidência ao longo do período avaliado. Bem como, a eficiência variável dos materiais de cobertura pode ter influenciado na transmissão efetiva da radiação solar para o ambiente interno. Além da interferência do plástico, fatores como partículas de poeira, horário do dia, ângulo da elevação do sol e outros fatores adversos podem ter contribuído para uma transmissão inferior.

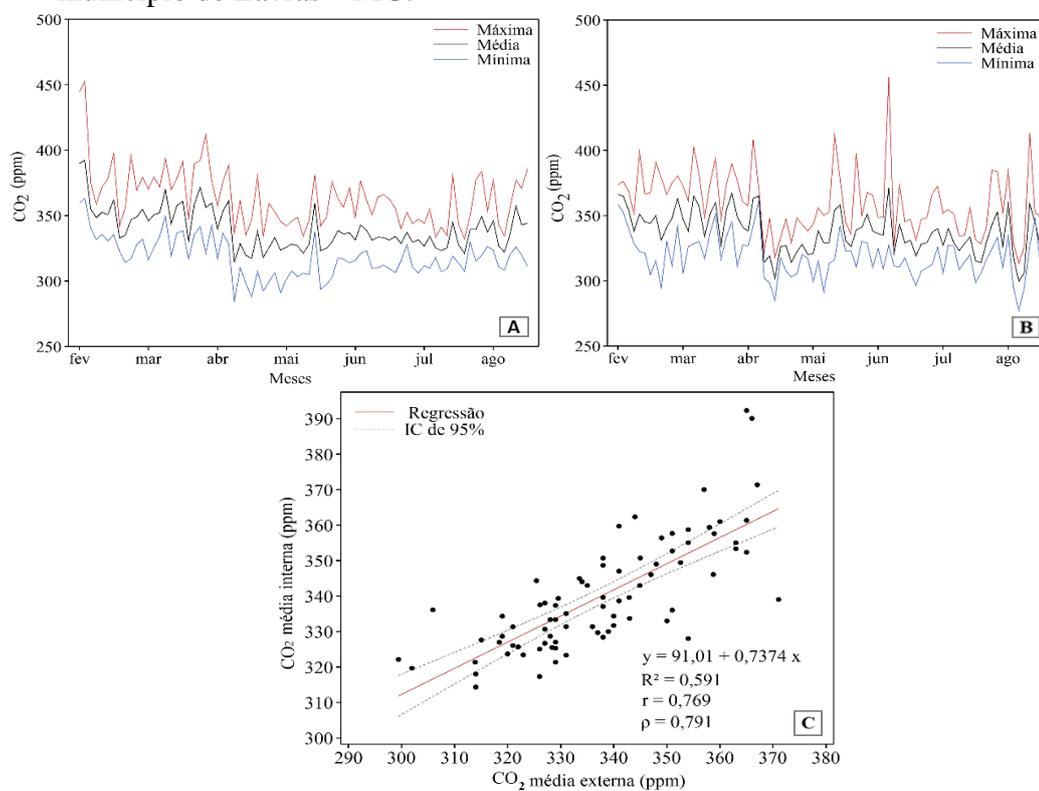
Esse resultado se torna importante, uma vez que a cobertura plástica atenua a radiação solar devido à reflexão e a absorção promovida pela cobertura plástica, as quais diminuem a incidência de radiação solar no interior do cultivo com cobertura, sendo essa redução variável em função do ângulo de incidência dos raios solares e da transmitância do filme plástico, ou seja, do tipo, da idade e da cor do filme (REBOUÇAS *et al.*, 2015; SCHÖFFEL *et al.*, 2022).

De acordo com Silva *et al.* (2022), a variação dos valores no nível de radiação solar incidente encontrado no interior do ambiente protegido, quando comparado ao ambiente externo, ocorre de acordo com a espessura e composição química do plástico de cobertura, assim como o período estacional do ano, o horário do dia e com o ângulo que estiver a elevação do sol, além dessas características é necessário levar em consideração o nível da reflexão e absorção realizada pelo material.

Na análise da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) registrada na casa de vegetação e no exterior da instalação, verificou-se que no interior do ambiente protegido obteve variação de 284 a 453 ppm e média de 340 ppm (Figura 6A), e para o ambiente externo, foi verificado uma variação de 277 a 456 ppm, apresentando média de 338 ppm (Figura 6B). O interior do ambiente protegido apresentou menor variação em comparação com o ambiente externo, observando-se maior estabilidade nas condições de CO<sub>2</sub> na casa de vegetação. No entanto as médias dos dois ambientes foram semelhantes, isso significa que, em média, as condições dentro da casa de vegetação foram mantidas em um nível comparável às condições externas, apesar das flutuações diárias.

Observou-se moderada associação entre os níveis de CO<sub>2</sub> no interior e no exterior da casa de vegetação, com o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,591$ , bem como elevados valores de coeficientes de correlação de Pearson  $r = 0,769$  e Spearman  $\rho = 0,791$  (Figura 6C). Porém, existe correlação positiva entre os níveis de CO<sub>2</sub> no ambiente externo e na casa de vegetação, depreendendo-se que as condições externas promovem influência nas condições internas, indicando que o modelo explica aproximadamente 59,1% da variabilidade observada nos dados

Figura 6 - Variação do dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (ppm), no ambiente interno casa de vegetação (A) e no ambiente externo (B) e correlação do CO<sub>2</sub> média entre os ambientes (C) no município de Lavras – MG.



Fonte: Acervo da pesquisa.

O desenvolvimento da tecnologia de sensores tem desempenhado um papel crucial no monitoramento do objetivo dos períodos de efeito estufa, incluindo as concentrações de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No entanto, há desafios associados à medição precisa das concentrações de CO<sub>2</sub>, e a não homogeneidade dentro do ambiente protegido é um desses desafios (LI *et al.*, 2018).

Em geral, a concentração ideal de CO<sub>2</sub> para o crescimento das plantas é de aproximadamente 1.000 ppm (JIN *et al.*, 2009; CHEN, 2010), contudo, a concentração de CO<sub>2</sub> no ar é de aproximadamente 350 ppm, valor semelhante aos encontrados na pesquisa. Porém, nas estufas muitas vezes a concentração de CO<sub>2</sub> é inferior a 350 ppm durante o dia, o que é muito aquém do suficiente para o crescimento ótimo das culturas.

No entanto, a concentração ideal de CO<sub>2</sub> para o crescimento das plantas pode variar significativamente entre diferentes espécies de plantas, bem como em diferentes condições ambientais, como intensidade de radiação solar e temperatura (LI *et al.*, 2018).

A concentração de dióxido de carbono no ar atmosférico é um dos fatores ambientais de grande influência no desenvolvimento dos vegetais. Assim, como a luz e o CO<sub>2</sub> estão

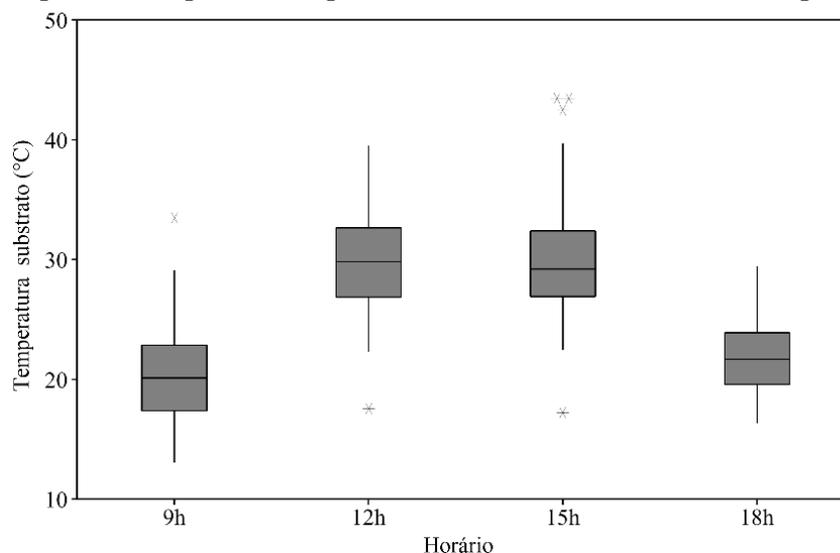
diretamente envolvidos na fotossíntese, são os fatores com maiores benefícios de regulação ambiental no cultivo protegido (CHEN *et al.*, 2022 ).

Em relação à análise de temperatura superficial dos substratos, os dados apresentam medidas centrais (média, mediana) e medidas de dispersão (desvio padrão) para cada horário, fornecendo uma visão geral da distribuição das temperaturas ao longo do dia. A variabilidade da temperatura superficial dos substratos nos sacos de polietileno é ilustrada na Figura 7, enquanto, os dados da estatística descritiva são listados na Tabela 3.

Os maiores valores médios de temperatura superficial do substrato foram registrados às 12h (30°C), horário que apresenta maior fluxo de radiação solar. A menor amplitude foi registrada às 18h (13,1°C) em comparação com os outros horários, indicando menor variação nesse período. Este fato pode ser confirmado pelo coeficiente de variação, pois o menor CV% ocorre às 18h (13,1%), implicando em uma relativa estabilidade nas temperaturas nesse horário.

A dispersão dos dados, representada pelo desvio padrão, é menor às 18h (2,9°C), indicando uma concentração mais próxima da média, enquanto o maior desvio padrão foi as 15h (4,6°C) indicando uma dispersão mais ampla dos dados nesse horário. A variação da distância interquartilica (Q1 – Q3) é menor às 18h (4,3°C), indicando uma concentração maior dos dados ao redor da mediana (Tabela 3).

Figura 7 - Boxplot da temperatura superficial dos substratos nos sacos de polietileno.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Tabela 3 - Estatística descritiva da temperatura superficial dos substratos

<b>Horário</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Q1</b>	<b>Mediana</b>	<b>Q3</b>	<b>Máximo</b>	<b>A</b>	<b>CV (%)</b>
<b>9h</b>	20,5	3,9	13,0	17,3	20,1	22,8	33,4	20,4	19,0
<b>12h</b>	30,0	4,0	17,5	26,8	29,8	32,6	39,5	21,9	13,5
<b>15h</b>	29,8	4,6	17,2	26,9	29,2	32,2	43,4	26,2	15,5
<b>18h</b>	21,8	2,9	16,3	19,6	21,7	23,9	29,4	13,1	13,1

Em que, DP: Desvio Padrão, A: Amplitude, CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Acervo da pesquisa.

A análise estatística descritiva da temperatura superficial dos substratos nos horários de 9h, 12h, 15h e 18h revela padrões distintos ao longo dos dias, porém, observa-se que no horário das 18h, as temperaturas estão menos sujeitas à flutuações significativas, havendo menor variação nas temperaturas durante esse período.

No decorrer do dia, durante o período em que há ocorrência da radiação solar, ocorre a incidência da radiação solar no solo, provocando o aquecimento do mesmo.

Já no período noturno ocorre uma perda gradual dessa energia, ocasionando o resfriamento do solo (SILVA; ESCOBEDO; GALVANI, 2002; SILVA *et al.*, 2022).

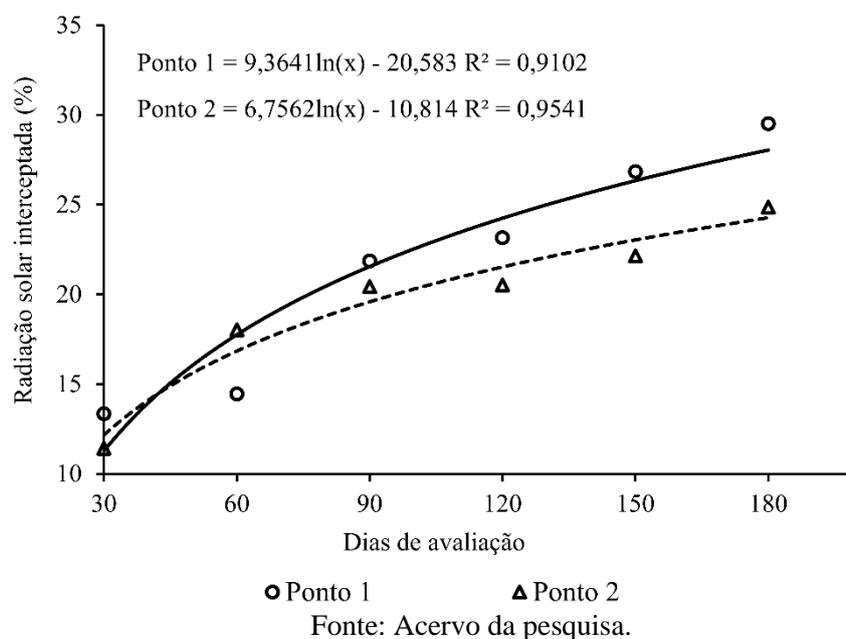
Em relação à temperatura mais elevada, Cavalcanti *et al.* (2019) em sua pesquisa também registraram valores mais elevados da temperatura dos substratos em bandejas, às 12h, horário coincidente com a maior disponibilidade de radiação solar.

De acordo com Oliveira *et al.* (2016), no que diz respeito às condições ambientais que afetam o processo germinativo, a temperatura dos substratos é um dos fatores que produzem influência de forma significativa. No entanto, a temperatura dos substratos pode variar de acordo com cada espécie vegetal, pois, para algumas espécies o desempenho germinativo das sementes é beneficiado por temperaturas constantes, enquanto que para outras, o ideal é a variação de temperatura (GOMES *et al.*, 2016).

Em relação a radiação solar interceptada nos pontos de coleta 1 e 2, nota-se que, a radiação aumenta progressivamente ao longo dos meses, indicando aumento na capacidade das mudas de café arábica em interceptar a radiação solar. No entanto, a maior quantidade de radiação foi interceptada no ponto 1, correspondendo a 29,5% da radiação incidente em 180 dias, ponto localizado mais próximo ao centro da casa de vegetação. Na média dos dois pontos de leitura, a interceptação variou de 13,36 a 29,51% para o ponto 1. Já no ponto 2, a variação registrada foi de 11,42 a 24,86%. Pode-se observar que, em geral, as mudas no ponto 1 demonstram tendência a interceptar mais radiação em comparação com as mudas no ponto 2.

Os coeficientes de determinação apresentados foram relativamente altos. No primeiro ponto  $R^2 = 0,9102$  e no segundo ponto  $R^2 = 0,9541$ , indicando que os modelos produziram bom ajuste aos dados (Figura 8).

Figura 8 – Radiação solar interceptada nas mudas de café arábica em diferentes pontos ao longo dos dias de avaliação.



Dentre os vários fatores ambientais que determinam o crescimento e desenvolvimento de plantas, a radiação solar interceptada pelo dossel é a principal fonte de energia para os processos de fotossíntese, produção de biomassa, balanço de energia, troca de dióxido de carbono e transpiração (MARISCAL *et al.*, 2000; CONSOLI *et al.*, 2006). Assim, a maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada pelo dossel das plantas é fundamental para a fotossíntese e para a produção das culturas (STEWART *et al.*, 2003).

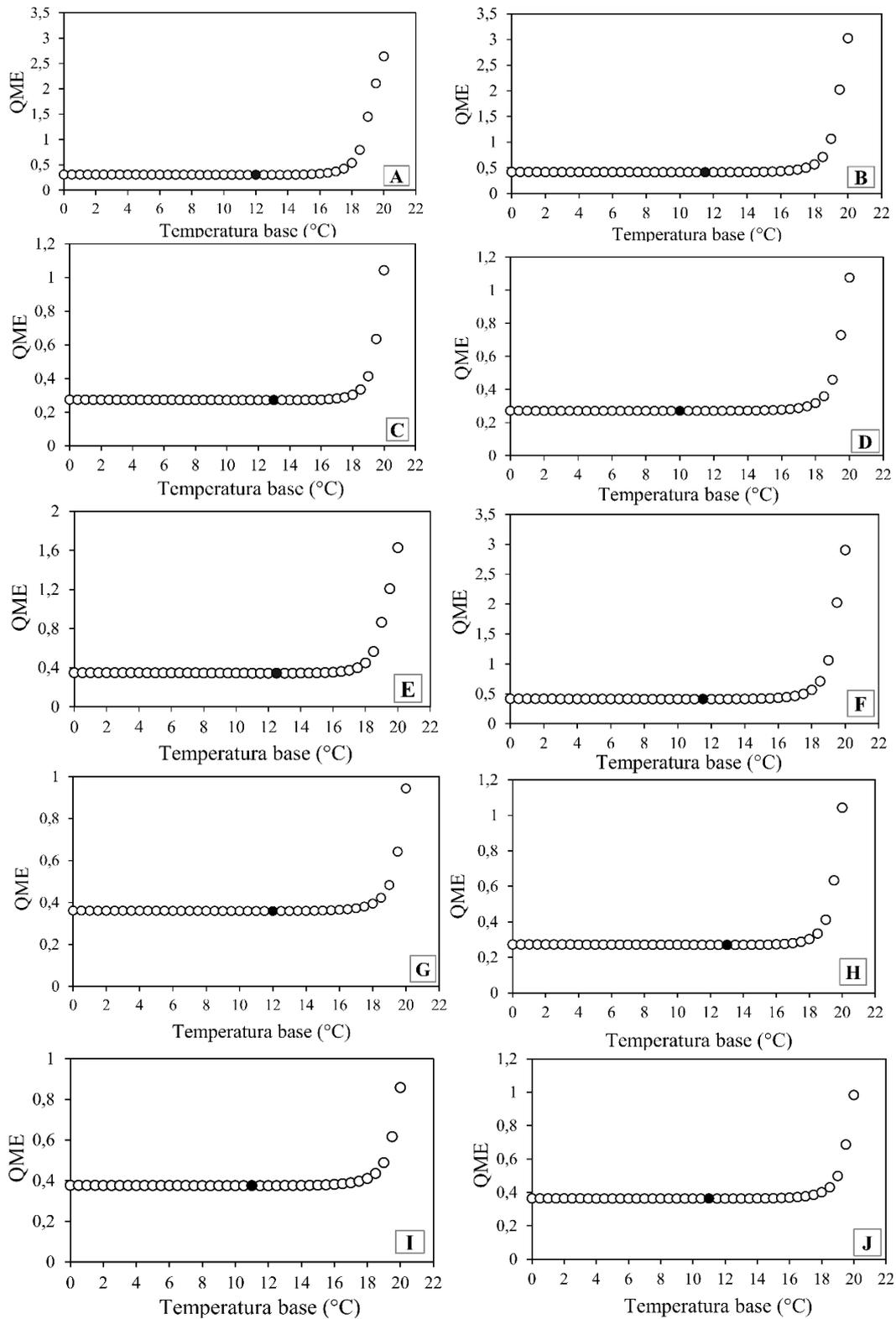
A interceptação da radiação solar depende de um conjunto de fatores, como tamanho e ângulo da folha, número de folhas, condições meteorológicas e práticas de manejo (SCHWERZ *et al.*, 2016), justificando-se, portanto, a variação na quantidade de radiação interceptada em um conjunto de plantas heterogêneas. Assim, a interceptação da radiação global tem elevada importância para a produtividade, pois influencia diretamente a quantidade de carboidratos resultantes da fotossíntese. Além disso, diversos processos relacionados à planta e ao ambiente dependem significativamente dessa variável (HELDWEIN *et al.*, 2012).

Na figura 9, encontra-se as variações do QME das equações de regressão linear para os diferentes valores de temperatura base, assumidos no cálculo da soma térmica, apresentando a

estimativa da temperatura base para uma planta de cada tratamento das mudas do café arábica. Para o T<sub>1</sub>, obteve-se uma Tb de 12°C (Figura 9-A), para as demais mudas do tratamento houve variação na Tb estimada de 10,5 a 12,5°C, com predomínio do valor estimado de 12°C. Para o T<sub>2</sub>, obteve-se uma Tb de 11,5°C (Figura 9-B), para o restante das mudas desse tratamento houve variação na Tb estimada de 8,5 a 12,5°C, com predomínio do valor de 11,5°C. Em relação ao T<sub>3</sub>, a Tb estimada foi de 13°C (Figura 9-C), e em relação às demais mudas, a variação na Tb estimada foi de 10 a 13°C, com predominância do valor de 13°C. Para o T<sub>4</sub>, obteve-se Tb de 10°C (Figura 9-D), para as demais mudas, houve variação na Tb estimada de 8 a 12,5°C, com predomínio do valor estimado de 10°C. No que diz respeito ao T<sub>5</sub>, este alcançou Tb de 12,5°C (Figura 9-E), havendo uma variação de 12,5 a 13°C para das demais mudas do tratamento, com predomínio de 12,5°C. Para o T<sub>6</sub>, esse atingiu Tb de 11,5°C (Figura 9-F), para as mudas restantes, houve variação na Tb de 11,5 a 14°C, com predomínio na temperatura base de 12,5°C. Com relação ao T<sub>7</sub>, foi registrado uma Tb de 12°C (Figura 9-G), para o restante das mudas, houve variação na Tb estimada de 9,5 a 12,5°C, predominando o valor de 12°C. No que se refere ao T<sub>8</sub>, este atingiu Tb de 13°C (Figura 9-H), havendo uma variação de 9 a 14°C para das demais mudas do tratamento, com predomínio de 14°C. Enquanto que, para o T<sub>9</sub>, obteve-se Tb de 11°C (Figura 9-I), para as demais mudas, houve variação na Tb estimada de 11 a 12°C, com predomínio do valor estimado de 11°C. E para o T<sub>10</sub>, registrou-se também Tb de 11°C (Figura 10-J), para o restante das mudas, houve variação na Tb estimada de 8 a 12°C, com predomínio do valor de 11°C.

Assim, optou-se por determinar a média das mudas para cada tratamento, expressos na Tabela 4. Entretanto, não houve diferença significativa nas médias para os tratamentos analisados. Apesar da variação, as cultivares utilizadas no estudo tiveram respostas semelhantes na temperatura base. Mostrando que as médias da Tb para emissão de folhas nos diversos tratamentos variaram de 11,3 a 12,7°C para cultivar MGS Paraíso e 10,1 a 12,5°C para cultivar Catuaí Amarelo. De acordo com o estudo de Lima e Silva (2008), a determinação da temperatura base (Tb) para o cafeeiro durante a fase de muda revelou uma faixa recomendada de 12,9°C a 15,4°C. Essa variação foi observada em função do método de cálculo empregado. É possível que as cultivares utilizadas no presente estudo estejam adaptadas a condições climáticas semelhantes, por isso, apresentaram resposta térmica comparável. Em relação aos substratos, estes apresentaram uma homogeneidade térmica, indicando que a temperatura base não variou significativamente entre eles, mostrando que a temperatura mínima á qual a planta começa a se desenvolver-se não é significativamente afetada pela escolha do substrato.

Figura 9 – Quadrado médio do erro (QME) da regressão entre o número de folhas acumulada na haste principal e a soma térmica acumulada utilizando-se várias temperaturas-base, para mudas de café arábica, de uma planta para cada um dos tratamentos: T<sub>1</sub> (A), T<sub>2</sub> (B), T<sub>3</sub> (C), T<sub>4</sub> (D), T<sub>5</sub> (E), T<sub>6</sub> (F), T<sub>7</sub> (G), T<sub>8</sub> (H), T<sub>9</sub> (I), T<sub>10</sub> (J).



Fonte: Acervo da pesquisa.

Tabela 4 – Valores médios da temperatura base (°C), nos seus respectivos tratamentos, para mudas de café arábica.

<i>Substratos</i>	<i>Temperatura base (°C)</i>	
	<i>C<sub>1</sub> - MGS Paraíso 2</i>	<i>C<sub>2</sub> - Catuaí Amarelo IAC 62</i>
<i>S<sub>1</sub></i>	11,9 a	11,2 a
<i>S<sub>2</sub></i>	11,8 a	10,1 a
<i>S<sub>3</sub></i>	12,7 a	12,5 a
<i>S<sub>4</sub></i>	11,2 a	11,6 a
<i>S<sub>5</sub></i>	11,3 a	10,8 a
CV (%)	12,41	

Em que, *S<sub>1</sub>*: substrato padrão café, *S<sub>2</sub>*: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, *S<sub>3</sub>*: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, *S<sub>4</sub>*: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, *S<sub>5</sub>*: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos e C: cultivar. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Para a cultura do cafeeiro, poucos são os estudos já realizados para determinar a temperatura base na fase de mudas. Os valores de  $T_b$ , são variáveis entre espécies, cultivares e também de acordo com os subperíodos de desenvolvimento vegetativo e desenvolvimento reprodutivo (LAGO *et al.*, 2009; SOUZA; MARTINS, 2014; MARTINS *et al.*, 2019). De acordo com Sinclair *et al.* (2004), o crescimento e desenvolvimento da cultura está relacionado com a temperatura do ar ocorrida em cada estágio de desenvolvimento da planta.

No entanto, os valores de  $T_b$  obtidos para os tratamentos de café arábica (*Coffea arabica* L.) neste estudo, foram semelhantes aos valores de  $T_b$  encontrados para outras cultivares, pois, Iaffe *et al.* (2001), estimaram a temperatura base para o cafeeiro em fase de desenvolvimento reprodutivo, pelo método da menor variação no desvio padrão e encontrou  $T_b$  de 11°C, para a região de Campinas, SP. Para a região de Botucatu, SP, os mesmos autores observaram a temperatura base estimada em 12,3°C. Vale ressaltar que, no presente estudo, a avaliação foi conduzida durante a fase de muda, representando uma etapa distinta do ciclo de desenvolvimento em comparação com a fase de desenvolvimento reprodutivo investigada por Iaffe *et al.* (2001). Esta diferenciação nas fases de crescimento pode influenciar as respostas térmicas e, conseqüentemente, os valores de temperatura base observados.

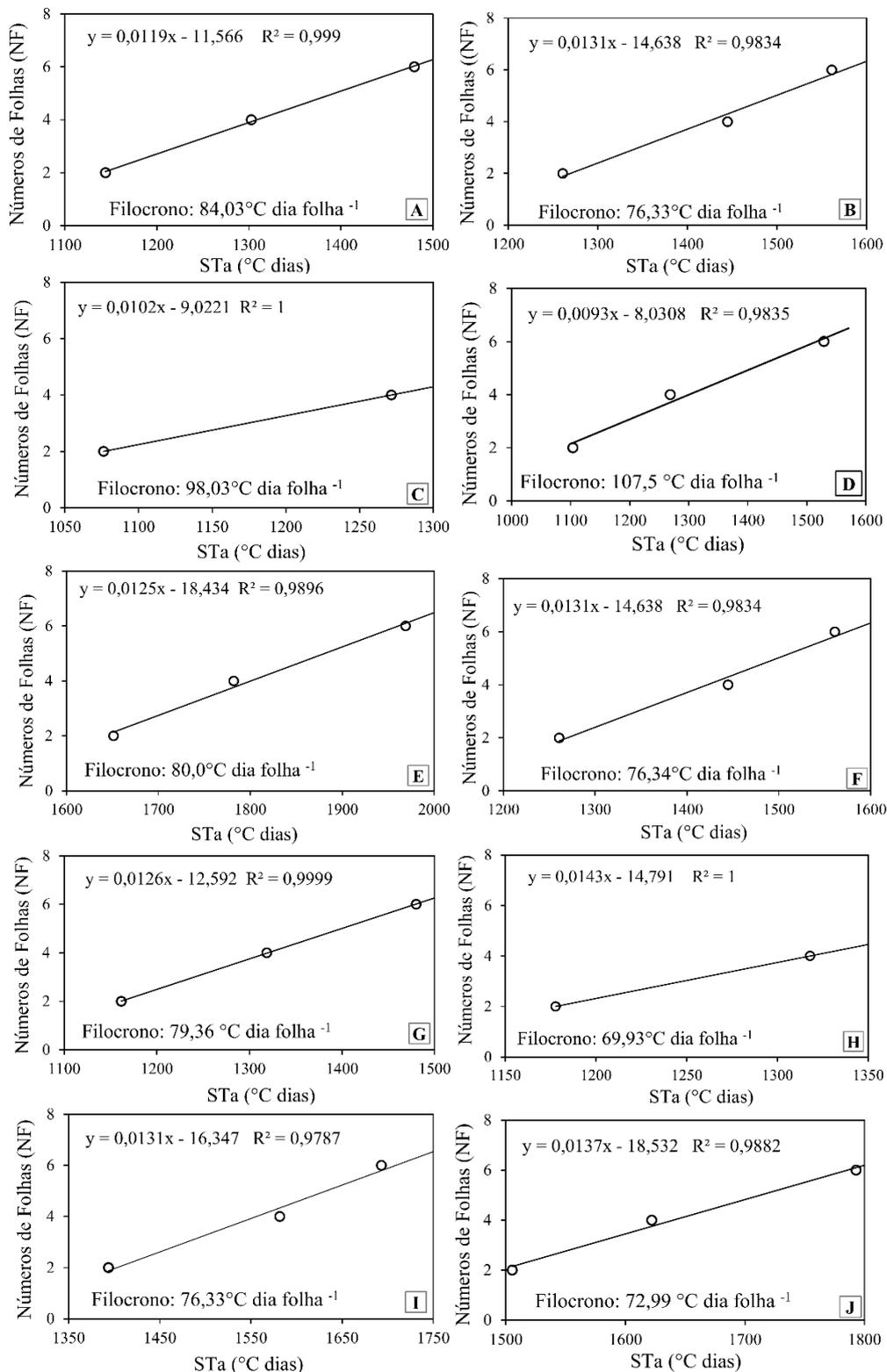
No entanto, Lima e Silva (2008), determinaram a temperatura base ( $T_b$ ) para região de Lavras, para duas culturas de cafeeiro (*C. arabica*) em fase de transplântio para o campo, e encontraram  $T_b$  de 12,9°C, pelo método apresentado por Ometto (1981); 14,8°C, para os métodos de menor desvio padrão, em dias (SDd), método coeficiente de regressão (Re) e coeficiente de variação, em graus-dia (CVgd) e 15,4°C, pelo método de menor desvio padrão,

em graus-dia (SDgd). Desse forma, dentre os vários métodos utilizados, o que mais assemelhou-se ao método do QME, proposto na presente pesquisa, foi o método apresentado por Ometto (1981).

Após determinar a média das mudas, obtendo a temperatura base para cada tratamento, os valores estimados da Tb foram usados no cálculo da soma térmica acumulada para estimativa do filocrono. Na Figura 10, são apresentadas as relações entre NF e STa para uma planta de cada tratamento, usada para estimar o filocrono. Com isso, observou-se elevado  $R^2$ , acima de 0,97, para ambos os tratamentos, sendo uma garantia de que a estimativa do filocrono por este método é adequado.

As médias dos filocronos variaram de 82,6 a 99,4°C dia folha<sup>-1</sup> para a cultivar MGS Paraíso, e para a cultivar Catuaí Amarelo houve uma variação de 74,9 a 105,4 °C dia folha<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Figura 10 – Relação entre o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e a soma térmica acumulada a partir da emissão de folhas (STa) utilizada para a estimativa do filocrono para mudas de café arábica, de uma planta para cada um dos tratamentos: T<sub>1</sub> (A), T<sub>2</sub> (B), T<sub>3</sub> (C), T<sub>4</sub> (D), T<sub>5</sub> (E), T<sub>6</sub> (F), T<sub>7</sub> (G), T<sub>8</sub> (H), T<sub>9</sub> (I), T<sub>10</sub> (J).



Fonte: Acervo da pesquisa.

Tabela 5 – Valores médios do filocrono ( $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ ), para cada tratamentos, em mudas de café arábica.

Substratos	Filocrono ( $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ )	
	C1 - MGS Paraíso 2	C2 - Catuaí Amarelo IAC 62
S <sub>1</sub>	93,6 a	79,9 b
S <sub>2</sub>	99,4 a	105,4 a
S <sub>3</sub>	93,8 a	74,9 b
S <sub>4</sub>	82,6 a	87,9 ab
S <sub>5</sub>	91,8 a	84,4 ab
CV (%)	11,86	

Em que, S<sub>1</sub>: substrato padrão café, S<sub>2</sub>: 50% Cama do *Compost Barn* + 50% Solo, S<sub>3</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo, S<sub>4</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 30% Areia + 40% Solo, S<sub>5</sub>: 30% Cama do *Compost Barn* + 70% Solo + Corretivos e C: cultivar. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Acervo da pesquisa.

Observa-se que a variação nos filocronos indica que diferentes cultivares podem ter impacto no desenvolvimento das mudas, apresentando essa variabilidade na quantidade necessária de energia térmica ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ ), para emitir um par de folha.

A relação linear entre o Número de Folhas (NF) e a Soma Térmica acumulada (STa) fortalece a confiabilidade dos resultados, indicando que a temperatura do ar é um fator de elevada influência na emissão de folhas e que a estimativa do filocrono pelo método da regressão linear é uma metodologia apropriada, como tem sido verificado para culturas agrícolas anuais (SINCLAIR *et al.*, 2004; STRECK *et al.*, 2005a).

O tratamento que obteve o menor filocrono foi o S<sub>3</sub>+C<sub>2</sub>, enquanto o maior filocrono foi do tratamento S<sub>2</sub>+C<sub>2</sub>, necessitando de maior soma térmica acumulada para emissão de folhas. Este achado corrobora com os resultados obtidos por Saraiva *et al.* (2019), os quais observaram que genótipos de trigo com maior filocrono necessitaram de maiores soma térmica acumulada para emissão de folhas. Esses resultados alinham-se também com a pesquisa de Streck *et al.* (2005b), que constataram que genótipos de trigo apresentando filocrono mais elevado requeriam maior quantidade de soma térmica acumulada para a emissão de folhas.

Assim, utilizando os tratamentos que obtiveram a melhor e a pior resposta para esse parâmetro, foi possível verificar que as plantas do tratamento T<sub>6</sub> (S<sub>3</sub>+C<sub>2</sub>) atingiram o estágio final de mudas após acumularem  $1751,4^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ , enquanto o tratamento T<sub>4</sub> (S<sub>2</sub>+C<sub>2</sub>), alcançou esse estágio com um acúmulo de  $2022,9^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  de STa, indicando uma diferença de  $271,5^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  entre os dois tratamentos. Esta diferença entre as plantas, ao atingir a fase final de mudas, reflete em um intervalo de 31 dias no calendário civil, principalmente quando a temperatura do

ar é baixa, isto normalmente ocorre durante o inverno, nos meses mais frios do ano. Destaca-se que foi utilizado o mês de agosto para realizar o cálculo, que apresenta temperatura média de 18,6°C na região de Lavras-MG (DANTAS *et al.* (2007). Isso pode permitir que os produtores antecipem o ciclo de produção, otimizando tempo, podendo contribuir para a redução da exposição das mudas a determinadas pragas e doenças.

Neste contexto, o filocrono é um essencial parâmetro do desenvolvimento vegetal, pois demonstra a velocidade de emissão de folhas nas plantas, que são encarregados pela interceptação e absorção da radiação solar (FAGUNDES *et al.*, 2007).

Assim, compreender o filocrono na produção de mudas de café arábica é crucial para otimizar os processos de cultivo e garantir a qualidade do produto final. No entanto, a literatura existente apresenta uma escassez significativa de dados nesse domínio específico, deixando uma falha notável no conhecimento. Esta pesquisa se propõe a preencher essa falta, fornecendo informações sobre o filocrono na produção de mudas de café arábica. Espera-se contribuir significativamente para o avanço do conhecimento neste campo, fornecendo entendimentos valiosos para agricultores, pesquisadores e tomadores de decisão no setor cafeeiro.

#### **4 CONCLUSÃO**

A caracterização das condições micrometeorológicas do ambiente protegido possibilitam ao produtor de mudas de café o entendimento das variações existentes, bem como da necessidade do uso de estratégias para manter as condições micrometeorológicas favoráveis para o desenvolvimento das mudas.

Neste contexto, a utilização de modelos de regressão linear para avaliar as variações micrometeorológicas, destaca-se como uma ferramenta crucial para compreender e prever a resposta micrometeorológica no ambiente protegido. O ajuste desses modelos representa uma estratégia para melhoria do cultivo e manejo na produção de mudas de café em ambiente protegido.

A variabilidade observada na temperatura superficial dos substratos nos sacos de polietileno, indicam uma notável desuniformidade de temperatura nos recipientes. Essa heterogeneidade térmica pode influenciar o crescimento e desenvolvimento de mudas, destacando a importância de considerar e gerenciar a temperatura em todas as áreas dos recipientes para garantir uma produção mais adequada.

As cultivares e substratos não mostraram diferenças significativas quanto a temperatura base das mudas de café, com valores médios de 11,3 a 12,7°C para cultivar MGS Paraíso e 10,1 a 12,5°C para cultivar Catuaí Amarelo. Essa informação é fundamental aos produtores de mudas de café, uma vez que o produtor pode realizar um planejamento agrícola com base nos valores de temperatura média do local e o filocrono da cultura, assim tendo uma data provável para a expedição das mudas. Ainda, o filocrono das mudas de café foi afetado pelo tipo de substrato utilizado, sendo que o tratamento S<sub>3</sub>: (30% de cama do *Compost Barn* + 70% terra de subsolo) em conjunto com a cultivar Catuaí Amarelo resultou em um menor filocrono 74,9°C dia folha<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de pesquisa, à Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo suporte contínuo ao longo do projeto e aos membros do Laboratório de Construções, Ambiente e Sustentabilidade, assim como ao Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiente em Biosistemas (COAMBI/UFLA).

## REFERÊNCIAS

- ARNOLD, C.Y. The Determination and Significance of the Base Temperature in a Linear Heat Unit System. **American Society for Horticulture Science**, Amsterdã, v. 74, n.1, p. 430-445, 1959.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units. **American Society for Horticulture Science**, Amsterdã, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.
- CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARRIA, G.; MARODIN, G. A. B.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P.; MANDELLI, F. Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 441-447, abr. 2008. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/165/5406>. Acesso em: jun. 2022.
- CAVALCANTI, S.D.L.; GOMES, N.F.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; MONTENEGRO, A. A. A. Variação espaço-temporal da temperatura do substrato em bandejas de produção de mudas. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 6, n. 1, p. 66-73, 2019. ISSN 2358-6303.
- CHEN, J.H.; TANG, M.; JIN, X.Q.; LI, H.; CHEN, L.S.; WANG, Q.L.; GUO, F.Q.

Regulation of Calvin-Benson cycle enzymes under high temperature stress. **Abiotech**, Singapura, v.3, n.1, p. 65–77, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42994-022-00068-3>

CHEN, S. Greenhouse environmental monitoring system with IPSO e BPNN. **Computer Measurement & Control**, Research Triangle Park, v.18, n.3, p. 601e604, 2010. <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2010.03.063>, 610.

COLTRI, P. P., PINTO, H. S., DO VALLE GONÇALVES, R. R., JUNIOR, J. Z., DUBREUIL, V. Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. **Heliyon**, Amsterdã, v. 5, n. 2, p. 01-27, 2019.

CONSOLI, S.; O'CONNELL, N.; SNYDER, R. Measurements of light interception by orange orchard canopies: the case study of Lindsay (California). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Amsterdã, v. 132, n.1, p. 9–20, 2006.

CUCOLOTTI, M.; PIPOLO, V.C.; GARBUGLIO, D.D.; FONSECA JUNIOR, N.S.; DESTRO, D.; KAMIKOGA, M.K. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.7, n.3, p.270-277, 2007.

CUNHA, R. D.; SOUZA, C. A. S.; NETO, A. A., MELO, B.; CORREA, J. F. Avaliação de substratos e tamanhos de recipientes na formação de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Ciênc Agrotecn**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2002.

DAMATTA, F.M., RAHN, E., L'ADERACH, P., GHINI, R., RAMALHO, J.C. Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated. **Climatic Change**, v.152, n.1, p.167–178, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4>.

DANTAS, A. A. A; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e climáticas em Lavras, tendências MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1862-1866, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.

DELLAI, J.; TRENTIN, G.; BISOGNIN, D. A.; STRECK, N. A. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.6, p. 1269- 1274, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600007

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. Rev. atual, Rio de Janeiro, 1997.

FAGUNDES, J. D.; SANTIAGO, G. DE MELLO, A. M.; BELLÉ, R. A.; STRECK, N. A. Crescimento, desenvolvimento e retardamento da senescência foliar em girassol de vaso 38 (*Helianthus annuus* L.): fontes e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, jul-ago, 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Inclusive and sustainable territories and landscapes platform**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. <<https://www.fao.org/in-action/territorios-inteligentes/noticias/detalle/en/c/1411506/>>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture Climate Change**. Agriculture and Food Security. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, 2016.

GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. M. D.; FERREIRA, P. I.; BATISTA, F. Substratos e temperaturas para teste de germinação em sementes de Myrtaceae. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n.1, p. 285-293, 2016.

GRUDA, N., TANNY, J. Protected crops, 327-405. In: DIXON, G.R., ALDOUS, D.E. (Eds.), **Horticulture: Plants for People and Places**. Springer Netherlands, v.1, 2014.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_10).

GRUDA, N.; TANNY, J. Protected crops e recent advances, innovative technologies and future challenges. **Acta Horticulturae**, Leuven, Bélgica, v.1107, p.271e278, 2015.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1107.37>.

GUISELINI, C., PANDORFI, H., BARROS, A.C., SILVA, L.F.D., DA SILVA NETO, S.P. Acclimatization of sugarcane seedlings in a greenhouse under two types of shading screens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.17, n.8, p. 877-882, 2013.

HELDWEIN, A.B.; MALDANER, I.C.; RADONS, S.Z.; LOOSE LH, LUCAS, D.D.P.; HINNAH, F.D. Estimativa do saldo de radiação em girassol como função da radiação solar global. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.16, n.2, p.194-199, 2012.

HUNT, D.; TABOR, K.; HEWSON, J.; WOOD, M.; REYMONDIN, L.; KOENIG, K.; SCHMITT-HARSH, M.; FOLLETT, F. Review of remote sensing methods to map coffee production systems. **Remote Sensing**, Basileia-Suíça, v.12, n.12, p.2041, 2020.  
<https://doi.org/10.3390/rs12122041>.

IAFFE, A.; PINTO, H.; ARRUDA, F. B.; QUAGLIA, L.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M.; ASSAD, E. Estimativa de temperatura-base e graus-dia com correção pelo fotoperíodo do florescimento à colheita de café em Campinas, SP. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2, 2001. **Anais**. Brasília: Embrapa café, p.47-47, 2001.

JIN, C.W.; DU, S.T.; WANG, Y.; CONDON, J.; LIN, X.Y.; ZHANG, Y.S. Carbon dioxide enrichment by composting in greenhouses and its effect on vegetable production. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Landau Alemanha, v.172, n.3, p.418e424, 2009.  
<https://doi.org/10.1002/jpln.200700220>.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; CARVALHO, M.P.; FAGUNDES, L.K.; DE PAULA, G.M.; LOPES, S.J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa v. 56, n. 3, p. 288-295, 2009.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v. 12, n. 3, p. 266-273, jul./set. 2008.

- LI, Y.; DING, Y.; LI, D.; MIAO, Z. Automatic carbon dioxide enrichment strategies in the greenhouse: A review. **Biosystems engineering**, Bélgica, v. 171, p. 101-119, 2018.
- LUCAS, D. D. P.; STRECK, N. A.; BORTOLUZZI, M. P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I. C. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE v. 43, n. 2, p. 288-292, 2012.
- MARISCAL, M.J.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F.J. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n.1, p. 6572, 2000.
- MARTINS, F. B.; REIS, D. F.; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1975-1981, 2012.
- MARTINS, F. B.; SILVA, J. C. D.; STRECK, N. A. Estimativa da temperatura-base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 373-381, 2007.
- MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.de; OLIVEIRA, L.F.S.dos; RAMALHO, V.; GONÇALVES, E.D. Temperatura do ar no desenvolvimento reprodutivo de cultivares de oliveira. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 34, n. 2, p. 179-190, 2019.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. A.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha: Fundação Prócafé, p. 1-542, 2010.
- OLIVEIRA, F. D. A.; OLIVEIRA FILHO, A. F.; MEDEIROS, J. F.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; LINHARES, P. C. F. Desenvolvimento inicial da mamoneira sob diferentes fontes e doses de matéria orgânica. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v.22, n.1, p.206-21, 2009.
- OLIVEIRA, F. N. D.; FRANÇA, F. D. D.; TORRES, S. B.; NOGUEIRA, N. W.; FREITAS, R. M. O. D. Temperaturas e substratos na germinação de sementes de pereiro-vermelho (*Simira gardneriana* MR Barbosa & Peixoto). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE v. 47, n.4, p. 658-666, 2016.
- OLIVEIRA, H. B. P.; SANTANA, L. M.; SANTOS, C. E. R.; MAZZINI-GUEDES, R. B. CASA DE VEGETAÇÃO DE BAIXO CUSTO. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas v. 7, p. 7-13, 2019.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 440p, 1981.
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n11/02.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100002>.
- REBOUÇAS, P. M.; DIAS, I. F.; ALVES, M. A.; BARBOSA FILHO, J. A. D. Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 7, n. 2, p. 115-125, jun. 2015.

REIS, L. S.; Componentes da radiação solar em cultivo de tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.7, p.739-744, 2012.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café arábica do plantio a colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, 316 p., 2015.

SANTOS, A. M. M.; OLIVEIRA SILVA, M. A.; SÁ, D. A.; NEVES, L. P. F.; DO NASCIMENTO GOUVEIA, F.; SILVA COSTA, K. D. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e berinjela. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal-PB, v. 16, n. 2, p. 206-212, 2021.

SANTOS, L. L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta - MT, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SARAIVA, F.; LEOCADIO, C. L.; PIRES, V. P. K.; CARVALHO, F. P. **Estimativa do filocrono na cultura do trigo (*Triticum aestivum*) com diferentes cultivares na região de São Vicente do Sul**. In: 16th CONTECSI-International Conference on Information Systems and Technology Management, São Paulo: USP [s.n.], 2019.

SCHÖFFEL, E. R., DA FONSECA BORGES, A., NOVELINI, L., SANTOS, P. M., & TRENTIN, R. Alterações micrometeorológicas com uso de cobertura plástica em cultivo de videira 'Niágara rosada', **Revista Thema**, Pelotas-RS, v. 21, n. 3, p. 903-919, 2022.

SCHWERZ, F.; CARON, B. O.; ELLI, E. F.; OLIVEIRA, D. M. D.; MONTEIRO, G. C.; SOUZA, V. Q. D. Avaliação do efeito de doses e fontes de nitrogênio sobre variáveis morfológicas, interceptação de radiação e produtividade do girassol. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 63, n.3, p. 380-386, 2016.

SEVERINO, L.S.; OLIVEIRA, T.S. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Baturité, Ceará. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 46, n. 268, p. 635 – 652, 2015.

SILVA, J.B.M.; DANTAS, T.; SOUZA, M.I.; OLIVEIRA, F.C. Condições micrometeorológicas em ambientes protegidos. In: SOUZA, W.J.O.; GOMES, E. N.; RODRIGUES, J. S. (Orgs.). **Desenvolvimento rural e sustentabilidade: energia, produção e novos mercados**. Guarujá-SP: Científica Digital, 2022.

SILVA, M. A. A.; ESCOBEDO, J. F.; GALVANI, E. Influência da cultura do pimentão (*capsicum annum* l.) nos elementos ambientais em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 07, n. 3, p. 230-240, 2002. ISSN 1808-3765. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3084/1903>. Acesso em: nov. 2023.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa-MG, v.30, n.3 p.391-399, 2006.

SIMON, J.; DE ALMEIDA, R. E. M. Revisão sobre saldo de radiação em plantas de cobertura contínua e descontínua e perspectivas para sistemas mistos (iLPF), EMBRAPA, 2014.

SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHINE JR., J. M.; POWELL, G. MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Holanda, v.88, n. 2-3, p. 171-178, 2004. DOI: 10.1016/j.fcr.2003.12.005.

SOUZA, D. M. S. C.; AMORIM, Y. F.; NOVAES, A. B.; SANTANA, T. M.; GM, A.; AGUIAR JUNIOR, A. L. Produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples. **Espacios**, Mérida, Venezuela, v. 38, n. 47, p.2, 2017.

SOUZA, P.M.B.; MARTINS, F.B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos-SP, v. 29, n. 2, p. 307-313, 2014.

STEWART, D.W.; COSTA, C.; DWYER, L.M.; SMITH, D.L.; HAMILTON, R.I.; MA, B.L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, Estados Unidos, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

STRECK, N. A., BOSCO, L. C., MENEZES, N. L., GARCIA, D. C., ALBERTO, C. M., & LAGO, I. Estimativa do filocrono em cultivares de trigo de primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Serra Talhada-PE, v. 13, n. 3, p. 423-429, 2005b.

STRECK, N. A.; BELLÉ, R. A.; ROCHA, E. K. D.; SCHUH, M. Estimating leaf appearance and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1448-1450, 2005a.

STRECK, N.A, BELLÉ, RA, HELDWEIN, AB, BURIOL, G., & SCHUH, M. Estimating the phyllochron in lily (*Lilium longiflorum* Thumb.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Serra Talhada-PE, v.12, n.2, p.355-358, 2004.

TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N. Produção de mudas e plantio. SAKIYAMA, N. S. et al. (eds). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 46-63, 2015.

VÁSQUEZ, M. A. N; FOLEGATTI, M. V.; DIAS, N. D. S.; SILVA, C. R. D. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 1, p. 137-143, 2005. DOI 10.1590/S0100-69162005000100015.

VERDONCK, O. F. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. **Acta Horticulturae**, Leuven, Bélgica, v.150, p.155-160, 1984.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, p.319-344, 1980.

XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdã, 175, n. 3, p. 261-270, 2004.